

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotantotekniikka

INSINÖÖRITYÖ

Kipsilevyn kuivaamisessa tarvittavan puhallutettavan ilmamäärän ja ohjauksen optimointi

**Työn tekijä: Mikko Boman
Työn valvoja: Miika Leinikka
Työn ohjaaja: Jarmo Perttula**

Työ hyväksytty: __. __. 2008

**Jarmo Perttula
lehtori**

ALKULAUSE

Tämä insinöörityö tehtiin Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n Kirkkonummen tehtaalle. Haluan kiittää projektin mahdollistanutta tuotantopäällikkö Jouko Haaralaa ja WCM-koordinaattori Miika Leinikkaa, joka oli tukena koko työn ajan. Lehtori Jarmo Perttula tahdon kiittää teoriapuolen onnistumisesta.

Helsingissä 28.4.2008

Mikko Boman

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Mikko Boman	
Työn nimi: Kipsilevyn kuivauksessa tarvittavan ilmapvirtauksen ja ohjauksen optimointi	
Päivämäärä: 28.4.2008	Sivumäärä: 43 s. + 6 liitettä
Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tuotantotekniikka
Työn valvoja: Miika Leinikka, Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy	
Työn ohjaaja: Jarmo Perttula	
<p>Tämä insinöörityö on tehty Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n Kirkkonummen tehtaassa kipsilevyjen kuivauksessa käytettävästä kuivurista. Kuivurissa on monta erilaista tekijää, jotka vaikuttavat kuivumiseen. Työssä keskitytään ilmapvirtauksien optimoimiseen tasokohtaisesti kuivurin sisällä. Kuivurissa on kahdeksan tasoa, joilta jokaiselta voi tulla eri tavalla kuivuneita kipsilevyjä. Tämä johtuu tasoilla olevista erilaisista olosuhteista. Tasojen lisäksi on kuivurissa myös kuusi vyöhykettä, jotka ovat rakenteeltaan erilaisia.</p> <p>Tämän työn tarkoituksena on jakaa ilmapvirtaukset tasokohtaisesti mahdollisimman tasaisiksi. Ilmapvirtauksen jakautumista voidaan muuttaa säätöpelleillä, joiden jälkeen ilmapvirtaus kulkeutuu kanavia pitkin tasolle. Eri vyöhykkeiden säätöpellit ja ilmakeinavat eroavat toisistaan, minkä takia säätöpeltien asennot eivät ole samoja eri vyöhykkeillä. Säätöpeltiä avaamalla tai sulkemalla lisätään tai vähennetään ilmapvirtausta. Ilmapvirtauksen muutokset mitattiin ilmapvirtausmittarilla ja pitot-putkella. Mittauspisteet sijaitsivat kuivurin sivuilla. Ensimmäisellä vyöhykkeellä ei ollut tasokohtaisia mittauspisteitä, minkä takia sieltä ei voinut mitata tasokohtaisia virtauksia. Toisella, kolmannella ja viidennellä vyöhykkeellä mittauspisteet olivat tuloilmapuolella. Neljännellä vyöhykkeellä mittauspisteet sijaitsivat poistoilmapuolella ja kuudennella vyöhykkeellä mittauspisteitä ei ollut tehty.</p> <p>Työn alussa käsitellään kuivauksen teoriaa ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Keskiosassa kerrotaan kuivureiden toiminnasta yleisesti, minkä jälkeen tarkastellaan Kirkkonummen tehtaassa kuivurin toimintaa. Loppuosassa esitellään mittaus tulokset ilmapvirtauksien jakautumisista tasolle. Tuloksissa kerrotaan, kuinka ilmapvirtaukset jakautuivat tasolle eri vyöhykkeillä ennen työn aloittamista. Testimittauksien tuloksista havaitaan, miten ilmapvirtaus jakaantuu silloin, kun säätöpellit ovat samoissa asennoissa keskenään.</p> <p>Testimittauksen ansiosta saatiin selville, kuinka säätöpeltien asentoja tulisi muuttaa, jotta tasojen virtaukset olisivat yhtä suuria. Muutosten jälkeen ilmapvirtauksista saatiin tasaisemmat.</p>	
Avainsanat: ilmapvirtaus, kuivuri, säätöpelti, mittaus, pitot-putki	

ABSTRACT

Name: Mikko Boman	
Title: Optimizing the airflow in dryer which dries gypsumboards	
Date: 28.4.2008	Number of pages: 49
Department: Mechanical and Production Engineering	Study Programme: Production Engineering
Instructor: Miika Leinikka, Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy	
Supervisor: Jarmo Perttula	
<p>This study was done for Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy's factory in Kirkkonummi. It has been done for dryer, which dries gypsumboards. There are many factors in dryer that influence to drying. This study focuses on optimizing airflow inside the dryer. There are eight layers in the dryer, which each one of them provides different types of drying. This is a cause of different circumstances in all layers. Besides layers there are also six different zones which are all built differently.</p> <p>The purpose was to divide airflow in layers as even as possible. The airflow can be changed with manual plates, which separates airflow to layers. All the manual plates and airchannels are different in all the zones. By opening and closing the manual plates can the airflow be increased or decreased. Changes of the airflow were measured with the airflowmeter and pitot-tube. The points where the measurements were taken were on the sides of the dryer. In the first zone there aren't manual plates for the layers. That's why airflow measurements for the layers couldn't be done there. In the second, third and fifth zones the measurement points were in side where incoming air blows. In the fourth zone the measurement points were in extraction air side and in the sixth zone there wasn't made any measurement points.</p> <p>The beginning of the study describes theory of the drying and all the factors that influence to the drying. The second part describes the general functions of the dryer and how it differs of the dryer in Kirkkonummi factory. Finally all the results of the airflow measurements are being presented. The results describe how the airflow is being spread to the layers before any actions were made. The test measurements show how the airflow divides when all manual plates are in same positions.</p> <p>With test measurements it was discovered how the positions of the manual plates should be changed so that the flows would be equal. After the changes the airflows were able to be came more even.</p>	
Keywords: Airflow, dryer, manual plate, measurement, pitot-tube	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	KIPSILEVY	2
2.1	Kipsi	2
2.2	Kipsilevyn rakenne	2
2.2.1	<i>Ominaisuudet</i>	2
2.2.2	<i>Raaka-aineet</i>	3
2.2.3	<i>Valmistus</i>	3
3	KUIVAUKSEN TEORIA	4
3.1	Kuivaus	4
3.1.1	<i>Lämmön siirto</i>	4
3.1.2	<i>Kostean aineen siirtyminen eli haihtuminen</i>	5
3.2	Kipsilevyn kuivauksen vaiheet	5
3.2.1	<i>Lämmitysvaihe</i>	6
3.2.2	<i>Vakionopeusvaihe</i>	6
3.2.3	<i>Kriittinen kosteuspiste</i>	6
3.2.4	<i>Laskevan nopeuden vaihe</i>	6
3.3	Kipsilevyn kuivaamiseen vaikuttavat tekijät	7
	<i>Levyjen pinta-ala ja paksuus</i>	7
	<i>Ilman lämpötila</i>	7
3.3.1	<i>Kosteus</i>	8
3.3.2	<i>Ilman virtausnopeus</i>	8
3.3.3	<i>Kartongin tyyppi, laatu ja ominaisuudet</i>	9
3.3.4	<i>Kipsin ja veden suhde</i>	9
4	KUIVURIN TOIMINTA	9
4.1	Yleisesti	9
4.2	Kirkkonummen tehtaan kuivuri	10
4.2.1	<i>Kuivurin ohjaus Citech-ohjelmalla</i>	12
4.2.2	<i>Ensimmäinen vyöhyke</i>	12
4.2.3	<i>Toinen ja kolmas vyöhyke</i>	13
4.2.4	<i>Neljäs ja viides vyöhyke</i>	15
4.2.5	<i>Kuudes vyöhyke</i>	16
4.3	Kuivurissa syntyvät ongelmat	16

5	MANUAALIPELLIT	17
5.1	Käsin säädettävien peltien tarkoitus	17
5.2	Peltien rakenne	18
5.2.1	Säätökahvat	18
5.2.2	Kääntävät mekanismit	19
5.2.3	Pellit	20
5.2.4	Ilmaohjurit eli puhalluslaatikot	21
5.2.5	Sivuttaisohjurit	24
5.3	Peltien käyttö	24
5.3.1	Toisen ja kolmannen vyöhykkeiden peltien käyttö	24
5.3.2	Neljännän ja viidennen vyöhykkeen peltien käyttö	25
5.3.3	Kuudennen vyöhykkeen peltien käyttö	26
6	EMPIIRINEN OSA	27
6.1	Mittausvälineistö	27
6.2	Mittausten alkutilanne	28
6.3	Toimintatapa mittaukselle	29
6.4	Mittausten analysointi	31
6.4.1	Toinen vyöhyke	31
6.4.2	Kolmas vyöhyke	33
6.4.3	Neljäs vyöhyke	34
6.4.4	Viides vyöhyke	35
6.4.5	Kuudes vyöhyke	37
6.5	Uudet asennot ja tulokset	37
6.5.1	Toinen ja kolmas vyöhyke	37
6.5.2	Neljäs ja viides vyöhyke	38
7	YHTEENVETO	39

LIITE 1	Säätöpeltien alkuperäiset aukioloasennot
LIITE 2	Toisen vyöhykkeen yhden säätöpellin avaamisen vaikutus ilmavirtauksen jakaantumiseen tasokohtaisesti
LIITE 3	Toisen vyöhykkeen yhden säätöpellin sulkemisen vaikutus ilmavirtauksen jakaantumiseen tasokohtaisesti
LIITE 4	Kolmannen vyöhykkeen kahden säätöpellin avaamisen vaikutus ilmavirtauksen jakaantumiseen tasokohtaisesti
LIITE 5	Säätöpellin avaamisen vaikutus ilmavirtauksien jakaantumiseen viidennellä vyöhykkeellä
LIITE 6	Säätöpellin sulkemisen vaikutus ilmavirtauksien jakaantumiseen viidennellä vyöhykkeellä

1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tavoitteena oli optimoida kipsilevyn kuivaamisessa käytettävän kuivurin ilmavirtaukset Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n Kirkkonummen tehtaalla. Ongelmana kuivauksessa oli kahdeksalla eri tasolla kuivuvien kipsilevyjen kuivuminen eri tavalla. Yhdellä tasolla saattoi vaihtelevista olosuhteista johtuen tulla hyviä kipsilevyjä, mutta toisella tasolla huonoja. Säätöpelillä tasojen ilmavirtauksen tasaisuutta voidaan säätää, mutta ongelmana on tiedon puute säätöjen vaikutuksesta ilmavirtauksien jakautumiseen tasokohtaisesti. Kuivurissa on tasojen lisäksi kuusi eri vyöhykettä, joiden säätöpellit ja ilmakeinavat ovat erilaisia.

Ilmanvirtausmittaukset suoritettiin yhdistelmämittarilla ja pitot-putkella. Ensimmäiset mittaukset suoritettiin alkutilanteessa, jossa säätöpeltejä ei säädetty. Säätöpeltejä aukaisemalla tai sulkemalla voitiin muuttaa ilmavirtauksien jakautumista tasoille. Toisena mitattiin vyöhykkeillä ilmavirtauksien tasokohtainen jakautuminen säätöpeltien ollessa yhtä paljon auki. Mittausten avulla yritettiin selvittää uudet aukioloasennot säätöpelille, jotta ilmavirtauksien jakautuminen olisi tasaisempaa tasokohtaisesti.

Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy kuuluu kansainväliseen Saint-Gobain konserniin. Konsernin liikevaihto on 35 mrd euroa, ja se on johtava toimija Euroopassa tai maailmassa kaikilla toimialoillaan, joita ovat tukkukauppa, rakennusmateriaalit, tasolasi, pakkaus sekä korkean suorituskyvyn omaavat erikoismateriaalit. Toimintaa konsernilla on yli 50 maassa, ja työntekijöitä on n. 181 000. Rakennustuotteet Oy on osa Saint-Gobain construction products -sektoria. Sektoriin kuuluvat eristeet, putket, tasoitteet, julkisivut ja kipsi. [1;2]

Kirkkonummen tehdas on perustettu 1971 ja se valmistaa, markkinoi ja kehittää kipsirakentamisen järjestelmiä. Tehdas aloitti tuotantonsa 1972. Työntekijöitä yrityksellä on 125. Gyprocista tuli yhdessä Isover Oy ja Ecophon Oy:n kanssa Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy 1.1.2008. Rakennustuotteet Oy on johtava toimialoillaan Suomessa ja Baltiassa. [1;2]

2 KIPSILEVY

2.1 Kipsi

Ranskalainen Lavoisier löysi 1775 kipsin kaavan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ eli hän ymmärsi, että kipsi on kivennäinen, vesipitoinen kalsiumsulfaatti. Löydön ansiosta alkoi kipsin kaupallinen käyttö laastina ja muovivaluissa. Kipsin ollessa puhdasta se voi olla valkoista, harmaata tai väritöntä. Kipsi voi olla myös läpinäkyvää tai läpikuultavaa. Kipsi eroaa kalkista ja liidusta siten, ettei se reagoi suolahapon kanssa. Kipsi on luonnontuote ja sitä on helppo työstää koneellisesti. Se ei pala eikä sisällä vaarallisia ainesosia. Kipsin teollisella tuotannolla on vain vähän haitallisia vaikutuksia ympäristöön. Tuotannosta syntyvää ylijäämää voidaan kierrättää ja valmistaa uudestaan. Kipsiä esiintyy runsaasti luonnonvaraisena. Kipsi muodostuu luonnossa saostumalla merivedestä ja sitä louhitaan avolouhoksista. Kipsiä syntyy myös voimalaitosten savukaasujen puhdistuksessa sivutuotteena. Puhdistuksessa käytettävä kalkkikiviliete estää rikkidioksidin pääsyn luontoon, vähentää happamoitumista ja tuottaa puhdasta kipsiä. Voimalaitoskipsi on puhtaampaa kuin luonnonkipsi. Nykyään kipsiä voidaan valmistaa kemiallisesti. Kipsi luo mahdollisuudet luovaan muotoiluun, hyvään akustiikkaan ja terveelliseen sisäilmaan. [3;4]

2.2 Kipsilevyn rakenne

Kipsilevyä kutsutaan myös kartonkikipsilevyksi. Se on kipsistä valmistettu rakennuslevy, jossa kartonki vahvistaa kipsimassan sidosta. Kartonki kiertää kipsilevyjen pitkien sivujen ympäri. Kipsilevyjä käytetään yleisrakennuksessa erilaisina rakennusosina lattioissa, sisäseinissä ja sisäkatoissa. Kipsilevyjä voidaan käyttää kuivissa sekä kosteissa olosuhteissa. Kipsilevyt ovat yleensä paksuudeltaan 6 - 20 mm, leveydeltään 600 - 1500 mm ja pituudeltaan 2 - 4,2 m. Kipsilevyjen painosta 93 % on kipsiä ja 6 % kartonkia. Hygrokoopisesta kosteudesta eli kipsilevyn kosteuden tasapainottumisesta ympäristön kanssa ja tärkkelyksestä muodostuu yksi painoprosentti. Sisuksen rakenteen muodostavat kipsi ja ilmahuokoset. [5]

2.2.1 Ominaisuudet

Kipsikartonkilevyn huonoja piirteitä ovat sen lujuusominaisuudet. Levyt vaurioituvat helposti kuljetuksessa ja käsittelyssä. Käyttäjien mielestä myöskään

levyjen lujuudet käyttötarkoituksessaan eivät ole tarpeeksi hyviä. Levyt eivät saa varastoinnin tai asentamisen aikana kostua liikaa. Kipsilevyt ovat hajutomia. Hyviä ominaisuuksia ovat

- paloturvallisuus
- muotopysyvyys eli ”elämättömyys”
- helppo työstettävyys
- pinnoituksen helppous
- keveys
- akustiikka
- hinta ja
- allergiaturvallisuus. [7]

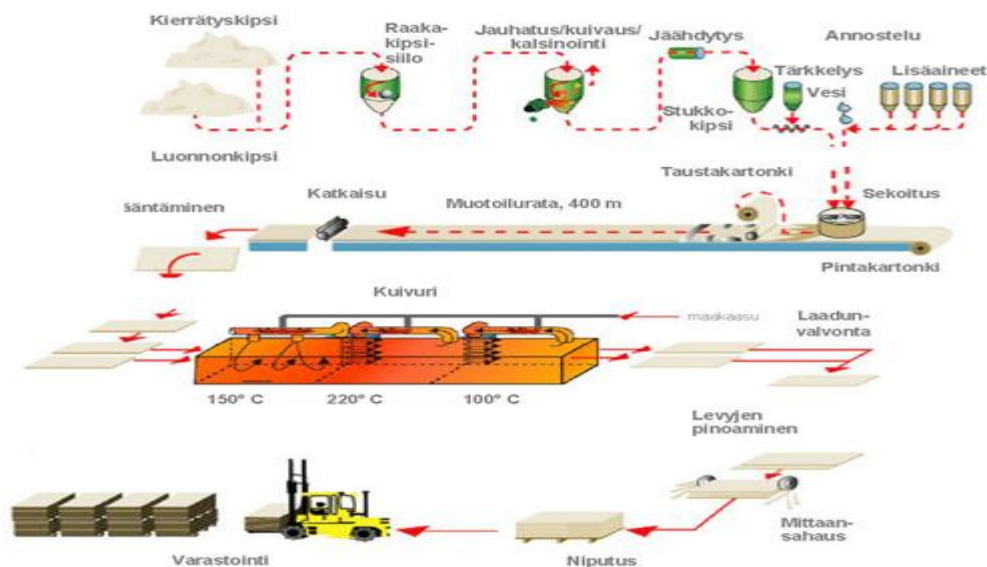
2.2.2 Raaka-aineet

Pääraaka-aineina kipsilevyissä ovat kipsi, kartonki, vesi, ilma ja tärkkelys. Kipsilähteinä voivat olla luonnonkipsi, kierrätyskipsi, voimalaitoskipsi tai kemiallinen kipsi. Tärkkelys liimaa kartongin kipsiin. Apuaineina kipsilevyissä voidaan käyttää dispergointiainetta, jolla veden määrää voidaan massassa alentaa sekä silikonია, lasikuitua, vermikulliittia, kiihdytintä ja hidastinta. Raaka- ja apuaineita lisätään sen mukaan, minkälaisia ominaisuuksia levyltä halutaan. Silikonია käytetään levyissä, joiden täytyy hylkiä kosteutta. Lasikuitu nostaa levyjen murtolujuutta ja vermikulliitti parantaa palonkestoa. [5]

2.2.3 Valmistus

Kirkkonummen tehtaalle kuljetettu valmiiksi jauhettu kipsi kuivataan kuumentamalla. Kun kipsi on kuivattu, se siirtyy kalsinointiprosessiin. Prosessissa poistetaan raakakipsistä $\frac{3}{4}$ sen sisältämästä vedestä, joka on sitoutunut kipsikiteisiin. Tämän jälkeen kipsiin sekoitetaan halutut raaka-aineet. Aineet sekoitetaan sekoittimella, jota kutsutaan mikseriksi. Mikseriltä syntyvä massa pursotetaan muotoilupöydällä kahden kartongin väliin. Kartongin reunoille on tässä vaiheessa valutettu liimaa, joka kiinnittää kartongin ja kipsikernan toisiinsa. Kipsimassa ja paperi kiinnittyvät toisiinsa tärkkelyksen avulla. Muotoilupöydän loppupäässä on muotoilulaaatta, joka antaa kartonkilevyille muodon. Levyt kovettuvat n. 400 metrin mittaisella muotoiluradalla, jonka lopussa levyt katkaistaan määrämittaansa. Levyt käännetään, jonka jälkeen ne menevät kuivuriin, jossa levyistä poistetaan ylimääräinen kosteus. Kuivurin jälkeen

levyt sahataan lopulliseen mittaansa. Levyt pakataan ja varastoidaan asiakkaita varten. (Kuva 1). [8]



Kuva 1. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n kipsilevyjen valmistusprosessi [8].

3 KUIVAUKSEN TEORIA

3.1 Kuivaus

Kuivaus termiä käytetään prosesseista, joissa poistetaan vettä kuivattavan tuotteen ytimestä. Tuotteita voidaan kuivata monella eri tavalla, kuten suodattamalla, linkoamalla tai lämpöä ja ilmavirtauksia käyttäen.

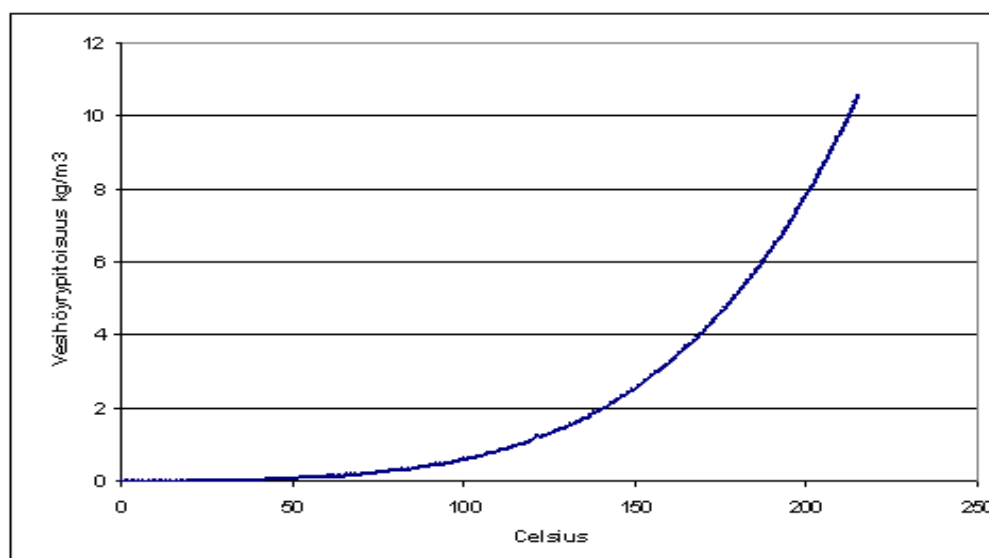
3.1.1 Lämmön siirto

Lämmön siirtyminen on lämpöenergian välittymistä eri lämpötiloissa olevien kappaleiden, nesteiden ja kaasujen välillä. Lämpö siirtyy aina kuumemmasta kylmempään niin kauan kuin lämpötilaeroa on. Lämpö voi siirtyä konvektion eli virtaavan kaasun tai nesteen vaikutuksesta kiinteään pintaan tai siitä pois. Konvektio voi käynnistyä lämpötilaeroista tai olla pakotettua esimerkiksi puhaltimella. Lämpö voi siirtyä myös johtumalla kahden tai useamman kiinteän aineen kosketuksen kautta. Lämpösäteilyn välityksellä lämpö siirtyy ilman väliainettakin ja kosketuksettomasti kahden pinnan välillä, jos ne ovat eri lämpötilassa. Lämpö johtuu viiveellä kappaleen pinnasta syvemmälle. Lämmön siirtymisen kanssa yhtä aikaa voi tapahtua myös aineensiirtoa kuten esimerkiksi kuivumisessa ja lauhtumisessa. Poikkeuksena toimii korkeataajuuksien radioaaltojen käyttäminen kuivauksessa, missä kappaleen sisus tuot-

taa lämpöä. Lämmitettävän kappaleen vesimolekyylien toinen pää on varautunut positiivisesti ja toinen negatiivisesti, minkä takia ne liikkuvat joutueensa sähkökenttään. Molekyylien liikkuminen aiheuttaa kappaleen lämpenemisen. [9;10]

3.1.2 Kostean aineen siirtyminen eli haihtuminen

Haihtuminen on kostean aineen muuttumista kaasuksi ja siirtymistä ympäröivään ilmaan. Yleensä haihtumista tapahtuu vedestä, joka muuttuu vesihöyryksi. Haihtumista voi tapahtua kaikissa lämpötiloissa. Kostean aineen siirtyminen tapahtuu kuivatettavan kappaleen sisältä kappaleen pinnalle ja sitä kautta ympäröivään ilmaan. Vesihöyryn suhteellinen kosteus, joka on 100 % maksimikosteudessaan. Jos kosteutta lisätään vesihöyryn suhteellisen kosteuden saavutettua maksimikosteutensa, näkyy kosteus sumuna. Kuivaaminen pysähtyy, kun kuivaavan ilman suhteellinen kosteus saavuttaa 100 %, tällöin siihen ei voi haihtua lisää vettä kuivattavasta kappaleesta. (Kuva 2.) [10;11]



Kuva 2. Ilman sisältämän vesihöyryn kyllästyspitoisuus eri lämpötiloissa [11].

3.2 Kipsilevyn kuivauksen vaiheet

Levyn kuivuminen jaetaan neljään eri vaiheeseen. Aluksi on lämmitysvaihe, jonka jälkeen on vakionopeusvaihe. Seuraavaksi tulee kriittinen kosteuspiste ja viimeisenä laskevan nopeuden vaihe. (Kuva 3.) [6]

3.2.1 Lämmitysvaihe

Kun levyn lämpötila nousee, vesihöyryn paine kasvaa levyn pinnalla kunnes se on korkeampi kuin kuivausilmassa olevan vesihöyryn paine. Tässä vaiheessa levyn sisällä oleva vesi alkaa höyrystyä ja haihtuu kartongin läpi kuivausilmaan. Kuuma ilma jatkaa levyn lämmittämistä ja levyn sisäisen veden höyrystämistä ja näin levyn lämpötila kasvaa. [6]

3.2.2 Vakionopeusvaihe

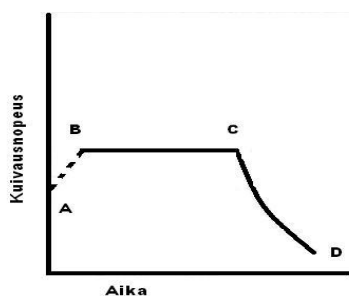
Lämmitysvaiheen jälkeen tulee vakionopeusvaihe. Tässä vaiheessa haihtuminen tapahtuu kipsimassan ja kartongin rajapinnalla. Levyjen kuivausnopeus pysyy tasaisena vaiheen aikana. Vaihe päättyy huokoisten osien täydellisen kuivumisen jälkeen. [6]

3.2.3 Kriittinen kosteuspiste

Kappaleen huokoisten osien täydellinen kuivuminen aiheuttaa kriittisen kosteuspisteen. Tämä vaihe saavutetaan kappaleen kosteuden ollessa suunnilleen 15 %. Kriittinen kosteuspiste voi myös vaihdella välillä 0 - 30 % riippuen levyn luonteesta ja kuivausolosuhteista. Kriittisen kosteuspisteen jälkeen levyjen lämmittäminen aiheuttaa nopeasti tuotteen liiallisen kuivumisen. Tämän vuoksi lämmittämistä tulisi vähentää pisteeseen pääsyn jälkeen. [6]

3.2.4 Laskevan nopeuden vaihe

Kriittisen kosteuspisteen jälkeen tulee viimeinen vaihe, jossa levyjen kuivausta tulisi vähentää. Laskevan nopeuden vaiheessa osa levyistä saattaa olla kuivia ja osa vielä kosteita. Kosteammista levyistä haihtuu kosteutta enemmän kuin kuivista, mutta kuivat levyt palavat helpommin. [6] Levyjen palamisesta on tarkemmin sivulla 16.



Kuva 3. Kipsilevyn kuivausnopeus suhteutettuna aikaan. A:sta B:hen on lämmitysvaihe. B:stä C:hen on Vakionopeusvaihe ja C:ssä on kriittinen kosteuspiste. C:stä D:hen on laskevan nopeuden vaihe. [10]

3.3 Kipsilevyyn kuivaamiseen vaikuttavat tekijät

Kipsilevyjen kuivauksessa vaikuttavat tekijät ovat

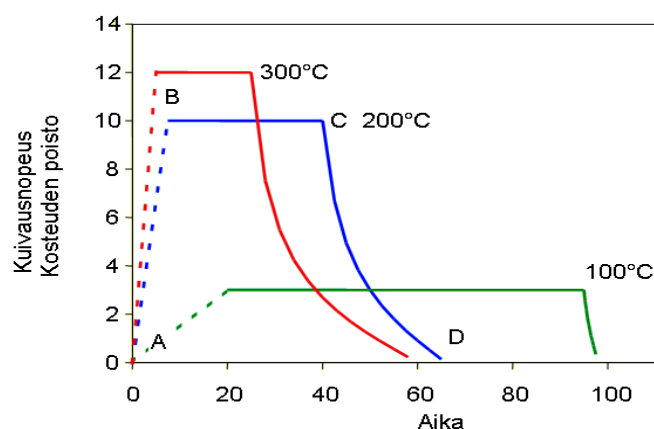
- levyjen pinta-ala ja paksuus
- ilman lämpötila
- kosteus
- ilman virtausnopeus
- kartongin tyyppi, laatu ja ominaisuudet
- lämmön siirtyminen
- kipsin ja veden tilavuussuhde sekä
- kuivausaika [6].

Levyjen pinta-ala ja paksuus

Paksummat levyt kuivuvat hitaammin, kuin ohuet, sillä niiden kipsimassan sisältämä vesimäärä on suurempi. Levyjen päädyt palavat helpommin, kuin ytimet, koska päädyjen sisältämä vesimäärä on vähäisempi kuin levyjen ydinten. Päädyistä ohenevat levyt ovat vielä alttiimpia palamiselle. [6]

Ilman lämpötila

Lämpötila on päätekijä kosteuden haihduttamisessa kappaleesta. Lämpötilan korottaminen nopeuttaa kuivausta, mutta voi aiheuttaa kipsilevyjen palamisen (kuva 4). Lämpötilan nostaminen kasvattaa myös energiakustannuksia, joita tulisi pienentää. [6]



Kuva 4. Lämpötilan vaikutus kuivausnopeuteen ja aikaan [10].

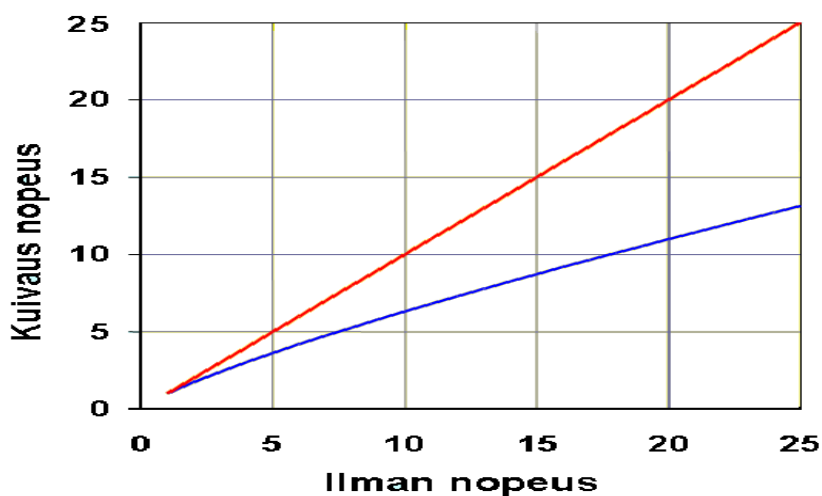
3.3.1 Kosteus

Ytimen lämpötila on korkeampi suuremmalla kosteudella. Mutta kipsilevyistä ei voi haihtua vesihöyryä suhteellisen kosteuden ollessa liian suuri. Kun suhteellinen kosteus on 100 %, kipsilevyjen pinnoilta ei voi haihtua kosteutta ilmavirtaan. Lämpötilan merkitys on kuitenkin haihduttamisessa tärkeämpää, kuin kosteuden. [6]

3.3.2 Ilman virtausnopeus

Kaasujen virtausta ei tapahtuisi lainkaan ilman paine-eroa. Alkupään korkeammat paineet voidaan luoda pumpuilla tai puhaltimilla. Lämmön siirtymisessä ilmavirtausten mukana on tärkeää, että virtaus on turbulenttista. Silloin kun pinnassa ei ole lähes seisovaa lämpövastuksena toimivaa virtausta, siirtyy lämpö tehokkaammin. Turbulenttisella virtauksella rikotaan pinnan lähettyvillä kulkevaa pientä laminaarista virtausta. Tällöin pinta joutuu kosketuksiin sellaisten virtausten kanssa, jotka poikkeavat pinnan lämpötilasta. Putkissa ja kanavissa painehäviöitä synnyttävät pinnankarheudet, virtauksen luonne ja kertavastukset. Nopeuksia, tiheyksiä ja virtauksia ohjaavia muotoja kutsutaan kertavastuksiksi, joita voi olla esimerkiksi mutkat, suodattimet, ja säätöpellit. [12]

Virtausnopeus on tärkeä tekijä lämmön ja kosteuden siirtymisessä. Ilmavirtaus kuljettaa polttimilta lämmintä ilmaa ja kuljettaa ylimääräisen kosteuden pois. Ilmavirtaus estää myös levyjen pinnalle syntyvän kylläisen vesihöyrykerroksen muodostumista. Vesihöyrykerros estäisi höyryn haihtumista levyjen sisältä, mikä haittaisi kuivattamista. Korkeampi virtausnopeus pienentää kerrosta ja näin ollen auttaa haihtumista ja nopeuttaa kuivumista. Riittävän suurilla virtausnopeuksilla alkavat kanavan neste- tai kaasuosaset tempautumaan virtauksen mukaan ja synnyttämään pyörteitä. Kerroksittainen virtaus katoaa sitä mukaan, kun virtausnopeus kasvaa. Pyörteistä virtausta kutsutaan turbulenttiseksi virtaukseksi. (Kuva 5). [6;12]



Kuva 5. Ilman nopeuden vaikutus kuivausnopeuteen [10].

3.3.3 Kartongin tyyppi, laatu ja ominaisuudet

Kartongeilla on erilaiset kosteuden läpäisyominaisuudet. Hyvät läpäisyominaisuudet auttavat kosteuden haihtumista kipsimassasta kartongin läpi kuivausilmaan. Vesimolekyylit läpäisevät paremmin kuituista kartonkia, kuin huokoista. Ohuempi kartonki nopeuttaa kuivumista. [6]

3.3.4 Kipsin ja veden suhde

Alhainen vesimäärä aiheuttaa enemmän vaahto-onkaloita. Nämä onkalot ovat kipsimassassa olevia ilmaonkaloita. Vesimäärän ollessa korkeampi syntyy vähemmän vaahto-onkaloita. Runsaat määrät vaahto-onkaloita nopeuttavat kuivumista ja niiden avulla saadaan levyt oikean painoisiksi, kun levyt on täytetty kipsillä. Vaahto-onkalot synnytetään saippualla. [6]

4 KUIVURIN TOIMINTA

4.1 Yleisesti

Koska levyt on saatava kerralla kuiviksi, täytyy kuivureissa olla useampi kuin yksi vyöhyke. Kuivureissa on yleensä kolmesta seitsemään vyöhykettä, joista ensimmäinen vyöhyke on kuumin ja viimeinen viilein. Viimeiset noin 15 % haihdutettavasta vedestä tulisi haihduttaa viimeisellä vyöhykkeellä. Tällä vältetään levyjen palamiselta. Kuivureissa on kuudesta 12:teen tasoon päälle-

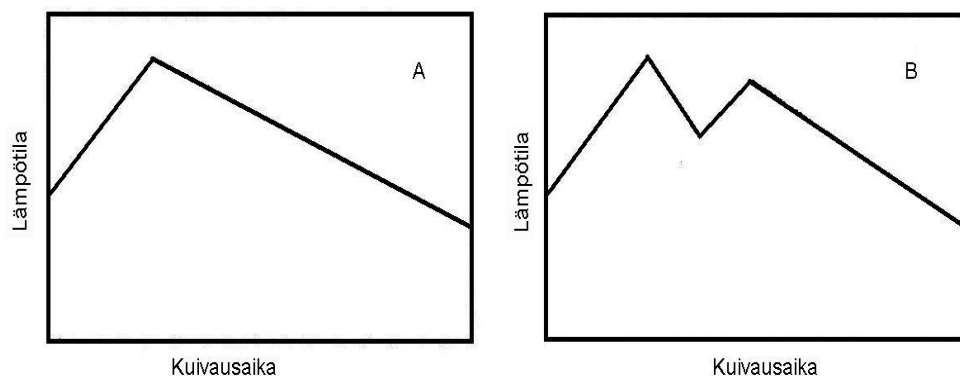
käin. Levyt kulkevat vyöhykkeiden läpi kuljetushihnoja pitkin. Hihnojen nopeus riippuu kuivurin lämpötilasta.

Vuosia sitten kuivureiden maksimilämpötila oli 225 °C, mutta nykyään johtuen kartonkien, ytimien, vyöhykkeiden pituuksien, nopeuden ja muiden muutoksien takia, lämpötila on nostettu 300 °C:seen. [6]

Kuivuria lämmittävien polttimien voimanlähteenä toimii polttoöljy, maakaasu tai molemmat. Puhallettu ilma kiertää kanavia pitkin vyöhykkeen läpi kuljettaen polttimilta lämmintä ilmaa ja kuljettaen vesihöyryä pois. Ilmavirtaus estää myös levyistä haihtuvan kosteuden synnyttävän ilmakalvon syntymistä vyöhykkeen sisällä. Ilma palaa kiertoilmapuhaltimien kautta uudelleen kiertoon tai poistuu hukkaenergiaksi ulkoilmaan poistoputkea pitkin. Ilmaa puhalletaan kohtisuoraan levyjä kohti tai levyjen suuntaisesti. Kuivurin alkupään ilmavirtaus tulisi rajoittaa 10 - 11 m:iin/s ja loppupään ilmavirtaus 9 m:iin/s. Jos ilmavirtaus on kovempi, niin levyt voivat nousta irti teloilta leijumaan. Ilmaohjureiden paikat ovat vaarallisimmat. [6;7]

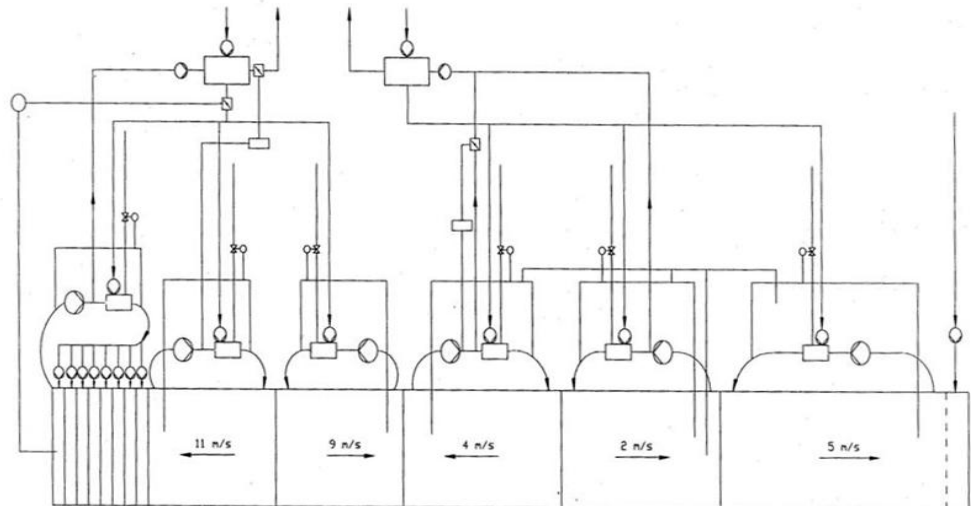
4.2 Kirkkonummen tehtaan kuivuri

Kirkkonummella toimivan Saint-Gobain rakennustuotteet Oy:n käyttämä kuivurin tarkoituksena on kuivata kipsilevyjä. Kuivauksen jälkeen kipsilevyjen vesimäärän tulisi olla n. 0,5 painoprosenttia. Kuivuriin mahtuu kaksi kipsilevyä rinnakkain. Kuivuri sisältää kuusi vyöhykettä ja kahdeksan tasoa. Vyöhykkeet ovat rakennettu kolmessa eri osassa. Vyöhyke kuusi on vanhin osa. Sen jälkeen rakennettiin vyöhykkeet neljä ja viisi. Kolme ensimmäistä vyöhykettä ovat uusimpia. Koska vyöhykkeet on rakennettu eri aikoihin, kuivurin lämpötilakäyrä eroaa tavallisten kuivureiden lämpötilakäyrästä (kuva 6). Kirkkonummen tehtaan kuivurin lämpötilan vaihtelu on runsaampaa, kuin kuivureissa yleensä. Päästyään maksimilämpötilaan toisen ja kolmannen vyöhykkeen välillä alkaa kuivurin lämpötila laskea hieman, kunnes taas lämpötila nousee neljännessä vyöhykkeessä. Polttimet käyttävät polttoaineenaan maakaasua. Kuivurin lämpötilaa nostettaessa kipsilevyt kuivuvat nopeammin. Ongelmana oli ennen mikseripöydän uusimista vuoden alussa, että mikseripöytä ei pysty tuottamaan kipsimassaa tarpeeksi, kun nopeus linjalla on liian suuri. Korkeilla nopeuksilla mikseripöydällä olevat sekoitettavat aineet roiskuivat ympäriinsä eivätkä sekoittuneet tarpeeksi. [13;14]



Kuva 6. Kuivureiden lämpötila suhteessa kuivausaikaan. A-piirros on tavallisen kuivurin lämpötila suhteessa kuivausaikaan ja B-piirros Kirkkonummen tehtaan kuivurin lämpötila suhteessa kuivausaikaan [14].

Kuivurissa synnytetään alipaine säätämällä tuloilmapeltien asennot pienemmiksi, kuin poistoilmapeltien. Kuivurin kiertoilmapuhaltimet nostavat painetta vyöhykekohtaisesti. Alipaineen ansiosta ilmavirtaus kulkee kuivurissa alusta loppuun. Jos ei olisi alipainetta, niin puhallettu ilmavirtaus pyrkisi ulos kaikista raoista mitä kuivurin reunoilla olisi. Hukkaan menevä energia olisi silloin valtava. Ilmavirtaus kuivurissa ei ole kaikilla vyöhykkeillä samansuuntaista. Virtausten voimakkuus on myös jokaisella vyöhykkeellä erisuuruista. Aikaisempien mittausten mukaisesti keskimääräinen ilmavirtaus toisella vyöhykkeellä olisi 11 m/s, kolmannella vyöhykkeellä 9 m/s, neljännellä vyöhykkeellä 4 m/s, viidennellä vyöhykkeellä 2 m/s ja kuudennella vyöhykkeellä 5 m/s. Toisella ja kolmannella vyöhykkeellä ilmavirtaus on levyjen menosuunnan vastainen eli vastavirtaa ja kolmannella, viidennellä ja kuudennella vyöhykkeellä levyjen menosuunnan myötäistä virtausta eli myötävirtaa. (Kuva 7.) [14]



Kuva 7. Vyöhykekohtaiset virtaussuunnat ja -nopeudet. Vasemmalla on ensimmäinen vyöhyke ja siitä eteenpäin toinen, kolmas, neljäs, viides ja kuudes vyöhyke. [14]

Vyöhykkeiden sisällä kiertävää ilmaa poistetaan poistoilmapeltien kautta ja kiertävän ilman sekaan tuodaan lämmitettyä ilmaa ulkoa. Jos sama ilma kiertäisi vyöhykkeen sisällä koko ajan, niin vyöhykkeen kosteus nousisi liikaa ja levyt eivät kuivuisi tarpeeksi.

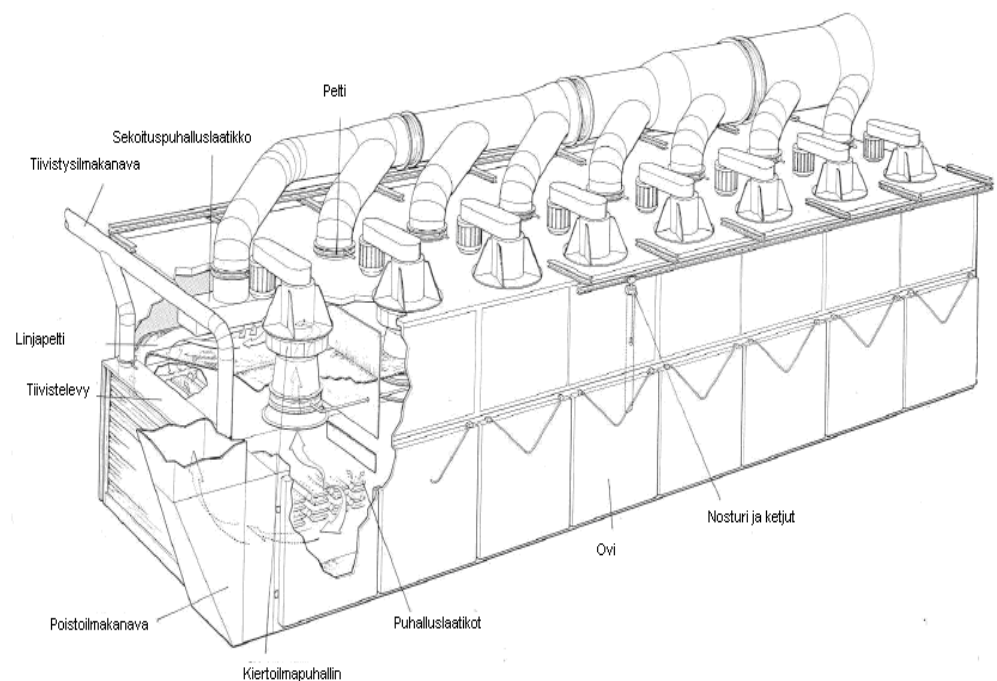
4.2.1 Kuivurin ohjaus Citech-ohjelmalla

Suurin osa kuivurin säädettävistä toiminnoista on automatisoituja ja niitä ohjataan tuotantoautomaatiojärjestelmä Citechin avulla. Huollot, poltinten sammumisten hätäkuittaukset ja tasokohtaisten peltien asentojen muuttaminen eivät ole ohjattavissa tietokoneella, vaan ne täytyy käydä käsin asettamassa. Kiertoilmapuhaltimien pyörimisnopeutta ei voi säätää tällä hetkellä, mutta kiertoilmapuhaltimien moottorit tullaan vaihtamaan taajuusmuuttajiksi. Silloin pyörimisnopeutta voidaan muuttaa Citechin avulla. Ohjelmalla voidaan säätää kuivurissa poistoilma-, tuloilma- ja kiertoilmapeltien asentoa, vyöhykekohtaista lämpötilaa sekä kosteutta. Myös painetta ja polttimia voidaan säätää tietokoneelta sekä kuljetushihnan nopeutta. Kuivurin olosuhdetiedot tallentuvat järjestelmään, ja niitä voidaan käyttää hyväksi olosuhteiden optimoinnissa.

4.2.2 Ensimmäinen vyöhyke

Ensimmäinen vyöhyke nostaa levyjen lämpötiloja puhaltamalla ilmaa koh-tisuoraan levyjä kohti. Vyöhykkeellä on kahdeksan kiertoilmapuhallinta, joilla jokaisella on oma kuivausosasto. Vyöhykkeen läpi menee jokaisen tason al-

ta ja päältä poikkipilareita, jotka ovat täynnä pieniä reikiä ylä- ja alapuolella. Tuloilmapuolelta pilarit ovat avonaisia, mutta poistoilmapuolella pääty on muotoiltu keilamaiseen muotoon. Muodon tarkoituksena on paineen luominen, jotta ilma kulkeutuu rei'istä läpi. Rei'istä ilma pääsee ulos pilareista koh- ti levyjä. Ilmaa puhalletaan vyöhykkeellä 25 m/s. Lopulta ilma poistuu pois- toilmakanavaan tai uudestaan kiertoon kiertoilmapuhaltimien kautta. Pois- toilmakanava ohjaa ilman lämmön talteenottoon, jossa kuivurin lämmittämä ilma lämmittää ulkoa tulevaa uutta viileää ilmaa. Tämän jälkeen ilma lähtee uudestaan kiertoon kuivurissa tai puhalletaan poistoilmapuhaltimella ulos hukkalämmöksi. (Kuva 8.) [13]

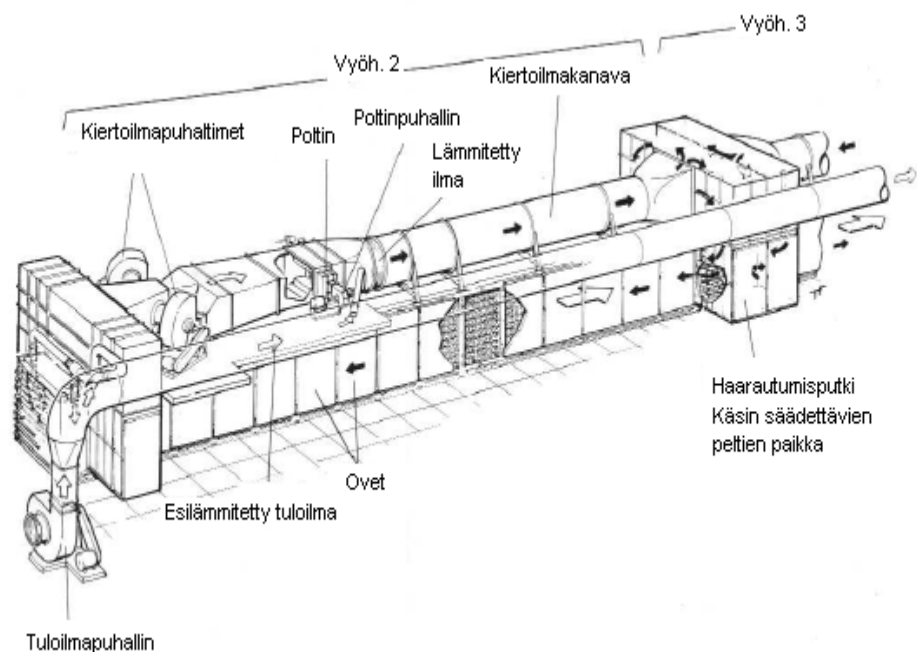


Kuva 8. Kuivurin ensimmäisen vyöhykkeen periaatteellinen rakenne [13].

4.2.3 Toinen ja kolmas vyöhyke

Toisella ja kolmannella vyöhykkeellä on samanlainen rakenne keskenään. Ne ovat vastakkain toisiinsa nähden, joten niiden ilmojen virtaussuunnat ovat erisuuntaiset. Toisen vyöhykkeen ilmavirtaus on levyjen menosuunnan vastainen. Vastaan tulevaan virtausta kutsutaan vastavirraksi. Kolmannen vyöhykkeen ilmavirtausta kutsutaan myötävirraksi, koska se kulkee samaan suuntaan levyjen kanssa. Toisen ja kolmannen vyöhykkeen välillä ovat kuivurin korkeimmat lämpötilat ja ilmavirtaukset levyjen suuntaisesti.

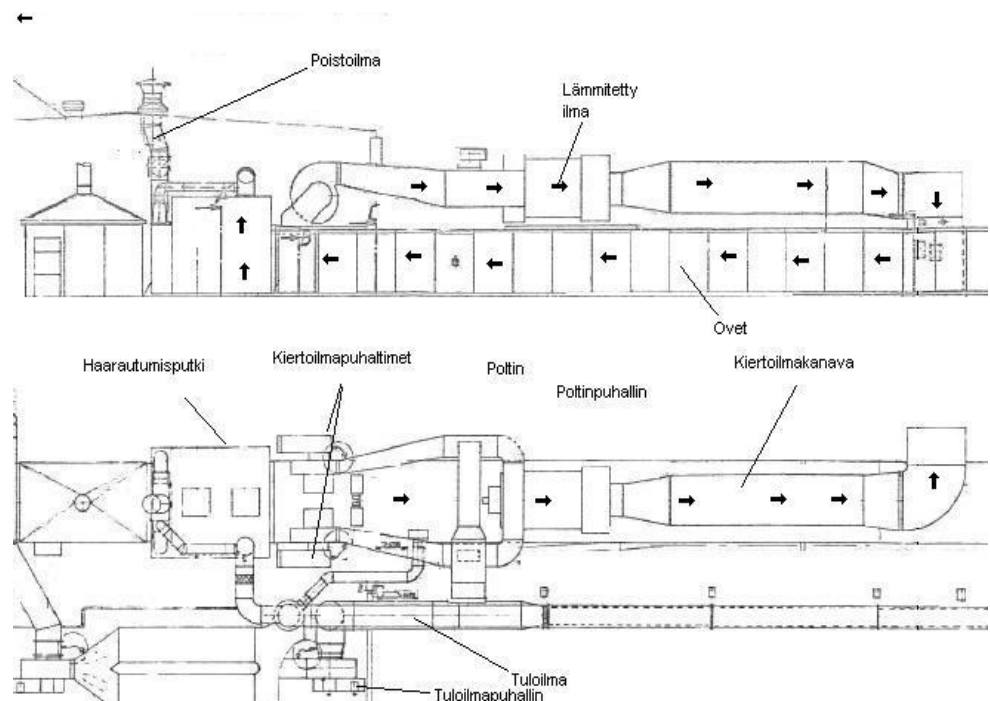
Molemmilla vyöhykkeillä on kaksi kiertoilmapuhallinta. Puhaltimet ovat asennettu puhalluskanaviin ja poltin on puhaltimien edessä. Kolmannella vyöhykkeellä on koko kuivurin suurin ja tehokkain poltin. Puhallettu lämmin ilma kulkee kiertoilmakanavaa pitkin haarautumisputkelle. Haarautumisputken yläosat ovat erittäin pelkistettyjä eikä niihin ole asennettu peltejä ohjaamaan ilmavirtaa. Reunat ja kulmat ovat melkein neliskanttisia eikä pyöristyksiä ole niin runsaasti kuin muilla vyöhykkeillä. Haarautumisputkessa ilmavirta haarautuu seinänpuolelle ja käytävän puolelle. Haarautumisputken alaosassa sijaitsevat pellit jokaiselle tasolle. Näitä peltejä manuaalisesti säätämällä, voidaan muuttaa jokaiselle tasolle kulkevaa ilmavirtausta erikseen. Manuaalipeltien jälkeen ilma kulkee tasoilla levyjen välissä saapuen lopulta toisen puolen haarautumisputkelle. Putken yläosan jälkeen ovat puhaltimien kiertoilmapellit, joiden avulla säädetään kiertoon menevän ja poistuvan ilman määrää. Ilma siirtyy joko uudestaan kiertoilmapuhaltimille tai kanavaan, jota pitkin pääsee poistoilmapellille ja poistoilmakanavaan. Poistoilmakanavan kautta ilma pääsee lämmön talteenottoon, jossa kuivurin lämmittämä ilma lämmittää ulkoa tulevaa uutta ilmaa. Lämmön talteenoton jälkeen ilma joko kierrätetään uudestaan kuivuriin tai puhalletaan poistoilmapuhaltimella ulos. (Kuva 9.) [13]



Kuva 9. Toisen ja kolmannen vyöhykkeen periaatteellinen rakenne [13].

4.2.4 Neljäs ja viides vyöhyke

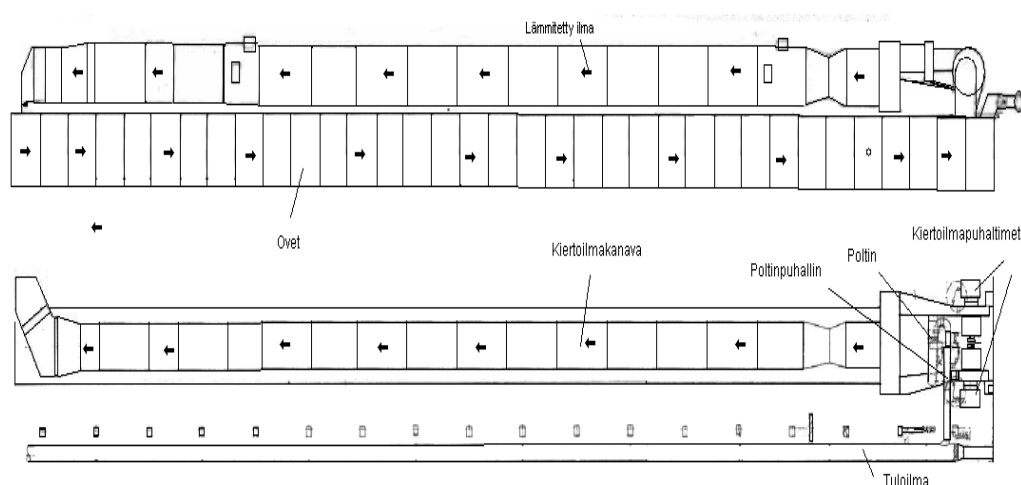
Neljäs ja viides vyöhyke ovat myös keskenään samanlaiset, mutta vastakkain rakennettu. Neljännen vyöhykkeen ilmvirtaus on vastavirtaa ja viidennen vyöhykkeen myötavirtaa. Kiertoilmapuhaltimet puhaltavat polttimesta tulevan lämpimän ilman kiertoilmakanavaa pitkin haarautumisputkelle. Haarautumisputken yläosassa ilma ohjautuu vain käytävän puolelle. Kiinteät pellit ohjaavat ilman tasaisesti putken molempiin reunoihin. Ilmavirran kääntyessä alas haarautumisputkeen ohjaavat toiset kiinteät pellit ilmaa tasaisemmin ylemmille ja alemmille käsin säädettävillä pelleillä. Haarautumisputken alaosassa on kaksi käsin säädettävää peltiä. Vyöhykkeen puoleiset pellit ohjaavat ilmavirran puhalluslaatikoille, jotka ohjaavat ilmaa käytävän puoleisille levyille ja ulommat pellit ohjaavat ilmavirran seinän puoleisille levyille. Puhalluslaatikoiden läpi ilmavirta pääsee levyjen kuivaustasoille. Levyjen välissä kulkeva ilmavirtaus päättyy lopulta toisen puolen haarautumisputkelle, josta se siirtyy kiertoilmapellin kautta uudelle kierrokselle tai poistoilmapellin lämmön talteenottoon. Lämmön talteenotossa kuivurin lämmittämä ilma lämmittelee ulkoa tulevan ilman. Seuraavaksi ilma puhalletaan uudestaan kiertoon tai ulkoilmaan hukkalämmöksi. (Kuva 10.)



Kuva 10. Neljännen ja viidennen vyöhykkeen rakenne.

4.2.5 Kuudes vyöhyke

Kuudes on viimeinen ja viilein vyöhyke. Liian korkeat lämpötilat tällä vyöhykkeellä aiheuttavat helposti levyjen palamisen. Sen takia vyöhykkeen lämpötila on huomattavasti muita vyöhykkeitä alhaisempi. Vyöhykkeellä on mittaa 72 metriä, ja se on kaikkein pisin vyöhyke. Poltin lämmittää ilmaa ja poltinpuhallin puhalttaa ilman eteenpäin. Ilma kulkeutuu haarautumisputkelle, jonka yläosassa on ilmavirtaa ohjaava pelti. Keskelle putkea rakennettu ohjaussiiveke ohjaa ilmavirran tasaisemmin haarautumisputken alaosan molemmille reunoille. Haarautumisputken alaosassa on kaksi vierekkäistä peltiä, jotka jakavat ilmavirran käytävän puoleisille puhalluslaatikoille ja seinän puoleisille puhalluslaatikoille. Ilmavirta kulkee puhalluslaatikoiden läpi levyjen kuivaustasoilla. Vyöhykkeen loppupäässä olevan haarautumisputken yläosassa oleva kiertoilmapelti määrää kiertoon lähtevän ilman määrän. Kiertoilmapellin jälkeen on kiertoilmapuhaltimet, jotka puhaltavat kiertoon lähtevän ilman polttimelle ja uudelle kierrokselle. Ilmavirtaus, joka ei pääse kiertoilmapellin kautta kiertoon, virtaa poistoilmaputken kautta poistoilmapuhaltimelle ja sitä kautta ulkoilmaan hukkalämmöksi. (Kuva 11.)

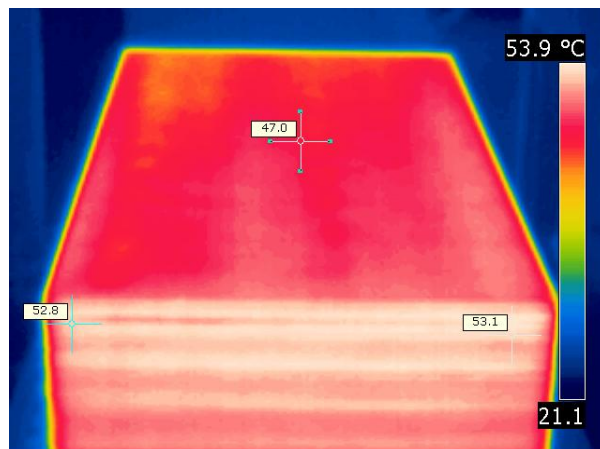


Kuva 11. Kuudennen vyöhykkeen rakenne.

4.3 Kuivurissa syntyvät ongelmat

Kun kidevettä haihtuu liikaa kipsilevyistä, ne rupeavat haurastumaan, kipsimassa murenee ja kartonki irtoaa helposti kipsimassasta. Näitä levyjä kutsutaan palaneiksi. Palanut pinta johtuu liiallisesta kuivauksesta ja liian korkeista lämpötiloista. Helpoiten palavat reunat ja päädyt, sillä niissä on enemmän pintaa materiaalmäärään nähden, kuin levyn keskellä. Ensimmäisenä kuivuriin saapuvien levyjen päät palavat todennäköisemmin kuin muiden kuivuriin

tulevien levyjen päät. Lämpötila kipsilevyjen reunoilla on suurempi, kuin levyjen keskiosassa (kuva 12).



Kuva 12. Lämpökameralla otettu kuva kuivuvista kipsilevyistä, joista havaitaan sisäosien olevan viileämpiä, kuin reunojen.

Kipsilevyt voivat jäädä liian kosteiksi. Tällöin lämpötila on ollut liian alhainen, levyt ovat kulkeneet kuivurin läpi liian nopeasti tai levyissä on ollut liikaa vettä. Liian pieni tai liian kostea ilmavirtaus kuivurissa voi estää myös kipsilevyjen kuivumista. Tasokohtaisestikin levyjen laatu vaihtelee. Vaikka joltakin tasolta voi tulla laadukkaita levyjä, niin toiselta tasolta voi samaan aikaan tulla huonoja levyjä.

Kasautuminen ja levyjen yhteentörmäyksetkin ovat mahdollisia, jos käytetään liian suuria nopeuksia ja levyt pääsevät nousemaan toistensa päälle. Levyt voivat myös kääntyä poikittain kuivurin sisällä tai vääntyä telojen väliin aiheuttaen tukoksia. [6;7;10]

5 MANUAALIPELLIT

5.1 Käsien säädettävien peltien tarkoitus

Manuaalipeltien tarkoitus on hienosäätää ilmavirtaus jokaiselle tasolle erikseen. Ne sijaitsevat vyöhykkeiden haarautumisputkessa siinä päässä, josta ilmavirtaus tulee. Poikkeuksena tähän ovat toisen ja kolmannen vyöhykkeen manuaalipellit, jotka sijaitsevat vyöhykkeen alku sekä loppupäässä. Manuaalipelleillä saadaan muutettua seinänpuoleisille ja käytävänpuoleisille levyille erilaiset ilmavirtaukset tasokohtaisesti. Suurin virtausnopeus on sisäsäteellä, jolloin ylimmille tasoille tulisi suurin virtausnopeus. Valmistaja suosittelee, että ylimpien tasojen pellit olisivat hiukan kiinni. Keskellä olevat pellit pitäisi

valmistajan mukaan olla täysin auki. Alimman tason alapuolella olevan tilan peltien suositellaan olevan hiukan kiinni (taulukko 1). Yhden tason pellin asennon muuttaminen vaikuttaa muihin tasoihin, sillä jos ilmavirtaus ei pääse kunnolleen eteenpäin niin se kiertää esteen seuraavan avoimen reiän kautta. Pellin ollessa osittain auki, ilmavirtaus kuristuu pienemmäksi päästäkseen kanavaan ja osa ilmavirrasta joutuu kiertämään seuraavan mahdollisen vapaan reitin kautta. Tasoilla kulkevien levyjen kuivaukseen vaikuttavat myös alemman tason ilmavirtaus, sillä ilma pääsee telojen välistä kuivamaan levyjen alaosa. Kaikkien peltien ollessa täysin kiinni rupeaisi paine haarautumisputkessa kasvamaan, mikä saattaisi rikkoa peltejä ja haarautumisputken rakennetta.

Taulukko 1. Kuivurin valmistajan suosittelemat manuaalipeltien aukioloasennot [14, s. 15].

	Seinän puoleisten säätöpeltien aukioloasennot	Käytävän puoleisten säätöpeltien aukioloasennot
Taso 0	80	80
Taso 1	100	100
Taso 2	100	100
Taso 3	100	100
Taso 4	100	100
Taso 5	100	100
Taso 6	100	100
Taso 7	80	80
Taso 8	60	60

5.2 Peltien rakenne

5.2.1 Säätökahvat

Ensimmäinen vyöhyke on ainoa vyöhyke, jossa ei ole manuaalipeltejä, joutuessaan kohtisuorasta puhalluksesta levyjä päin. Manuaalipeltejä säädetään kuivurin haarautumisputkien ulkopuolella olevista kahvoista. Vyöhykkeillä on erilaisia kahvoja riippuen milloin vyöhyke on rakennettu (kuva 13). Kahvojen ulkonäkö ja käyttötapa poikkeavat hieman toisistaan. Syy poikkeavuuksiin on kuivurin rakentaminen kolmessa eri osassa. Vaikka tasoja on kahdeksan, niin kahvoja ja peltejä on yhdeksän päällekkäin. Alin kahva säättää alimman tason alapuolella olevaa virtausta. Kahvojen rakenteesta huomaa, miten uu-

demmat kahvat ovat paljon pelkistetympiä, helpompia käyttää ja ymmärtää kuin vanhempien vyöhykkeiden kahvat.



Kuva 13. Manuaalipeltien säätökahvojen eroavaisuudet. Vasemmalla on toisen ja kolmannen vyöhykkeen kahva. Keskellä on neljännen ja viidennen vyöhykkeen ja oikealla on kuudennen vyöhykkeen kahva.

Toisen ja kolmannen vyöhykkeiden manuaalipeltien säätökahvat ovat asetettu molemmiin puolin kuivuria. Näiden kahden vyöhykkeen seinän puolella olevia manuaalipeltien asentoja muutetaan seinänpuoleisten kahvojen avulla. Käytävän puoleisia manuaalipeltejä ohjataan käytävän puoleisilla kahvoilla, kun taas neljännen, viidennen ja kuudennen vyöhykkeen kahvat ovat vain käytävän puolella.

5.2.2 Kääntävät mekanismit

Kahvoista väännettäessä liikkuu kahvan toisella puolella mekanismi, joka on varren avulla kiinnitetty säädettävään peltiin. Mekanismi kääntyy mikä aiheuttaa pellin pyörittämisen tai kääntymisen haluttuun suuntaan. Vyöhykkeiden kääntömekanismeissa on eroavaisuuksia, joka johtuu jälleen eri rakennusajankohdista. Vyöhykkeiden kaksi ja kolme pellin kääntömekanismit ovat ulompana kahvasta, kuin neljännen ja viidennen vyöhykkeen kääntömekanismit. Kuudennessa vyöhykkeessä kahvat ovat asetettu suoraan kääntyväle akselille. (Kuva 14.)



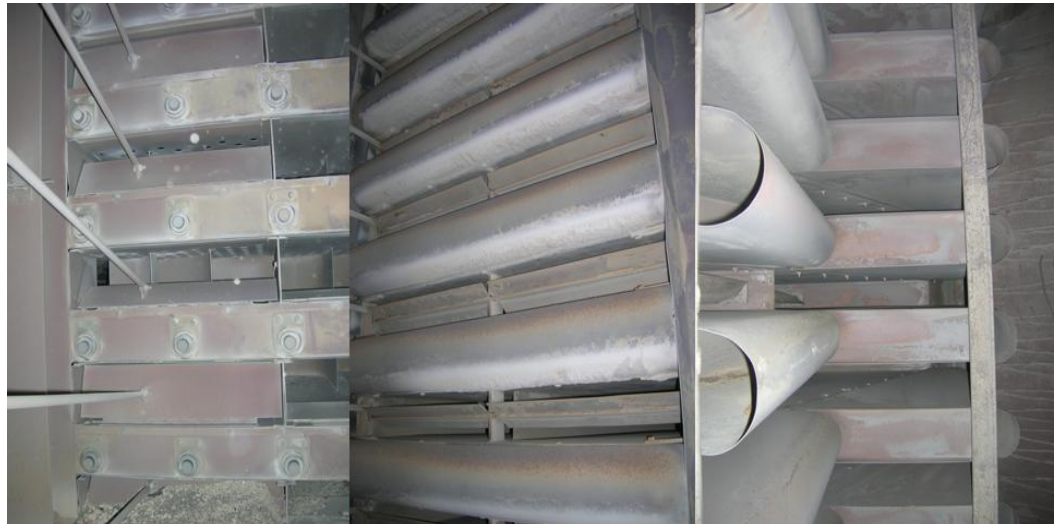
Kuva 14. Kääntömekanismit. Vasemmalla on toisen ja kolmannen vyöhykkeen manuaalipeltien kahvan kääntömekanismeja. Keskellä on neljännen ja viidennen vyöhykkeen kääntömekanismeja. Oikeassa reunassa on kuudennen vyöhykkeen säätöpellin kääntävä akseli.

5.2.3 Pellit

Mekanismien kääntämät pellit ovat myös erilaiset eri aikoihin rakennetuilla vyöhykkeillä. Toisen ja kolmannen vyöhykkeen kahvoilla säädettävät säätöpellit kaatuvat auki. Näillä vyöhykkeillä on myös toisenlaiset säätöpellit, joiden asentoa ei voi muuttaa kuivurin ulkopuolelta. Nämä säätöpellit ovat säädettävissä mutterilla haarautumisputken sisältä (kuva 15). Mutterin säädettävät pellit ovat valmistajan asettelemissa asennoissa eikä niitä ole käännetty. Neljännen viidennen ja kuudennen vyöhykkeen pellit pyörähtävät auki. Toisen ja kolmannen vyöhykkeen peltien reunat ovat neliskanttiset, kun taas neljännen, viidennen ja kuudennen vyöhykkeen peltien ylä- ja alapuolella on pyöristykset, jotka ohjaavat ilmaa. (Kuva 16.)



Kuva 15. Toisen ja kolmannen vyöhykkeen mutterilla säädettävä säätöpelti.



Kuva 16. Säätöpellit. Vasemmalta oikealle on ensin toisen ja kolmannen vyöhykkeen säätöpellit. Seuraavana ovat neljännen ja viidennen vyöhykkeen pellit ja viimeisenä on kuudennen vyöhykkeen säätöpellit.

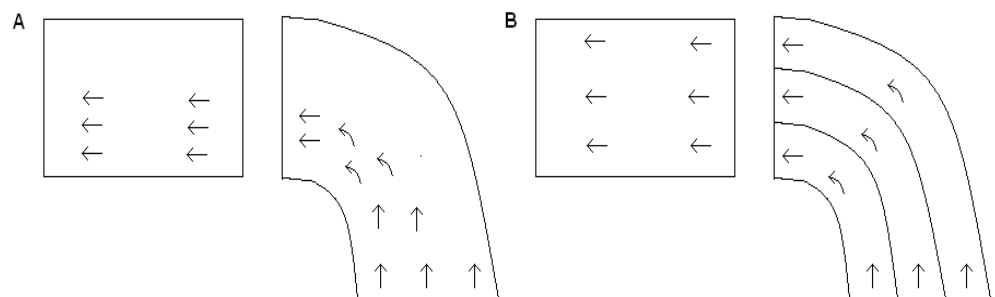
Toisella ja kolmannella vyöhykkeillä olevilla käsin säädettävillä pelleillä muutetaan laitimmaisten ohjureiden ilmavirtausta. Keskimmäisille ohjureille tarkoitettuja peltien asentoa täytyy muuttaa haarautumisputken sisäpuolelta. Nämä pellit ovat kiristetty kiinni pulteilla, jotka täytyy avata jakoavaimella. Avaus täytyy suorittaa kuivurin ollessa pois päältä, joten näiden peltien käyttäminen on hankalaa. Neljännen, viidennen ja kuudennen vyöhykkeen ulkopuolella olevilla pelleillä voidaan muuttaa koko kuivurin leveydeltä ilmavirtausta.

5.2.4 Ilmaohjurit eli puhalluslaatikot

Manuaalipeltien jälkeen ilmavirtaus siirtyy puhalluslaatikoiden kautta tasoille, joilla levyt liikkuvat. Puhalluslaatikot ovat vyöhykekohtaisesti erilaiset. Toisella ja kolmannella vyöhykkeellä olevat laitimmaiset puhalluslaatikot ovat ulompana kuin keskemmällä kuivuria olevat saman tason puhalluslaatikot (kuva 17). Idea puhalluslaatikoissa on kuitenkin sama. Yhden pellin kautta kulkeva ilmavirtaus jakaantuu kolmeen tai neljään osaan ohjaussiivekkeiden avulla. Tämä jakaus tasoittaa ilmavirtauksen levyille tasaisemmaksi. Jos jakausta ei olisi, ilmavirtaus kulkisi ilmavirtaus sisäreunaa myöten toiselle reunalla, jolloin kuivaus olisi epätasainen (kuva 18). Häviöttömän mutkavirtauksen virtaustyyppi on sirkulaatio, jossa nopeus on kääntäen verrannollinen kaarevuussäteeseen. Tämän vuoksi sisäsäteellä vallitsee suurin virtausnopeus. Toisella ja kolmannella vyöhykkeellä puhalluslaatikoiden mutkakohtien katot ja lattiat ovat rei'itetty paineen tasaamiseksi kulmissa. [12]

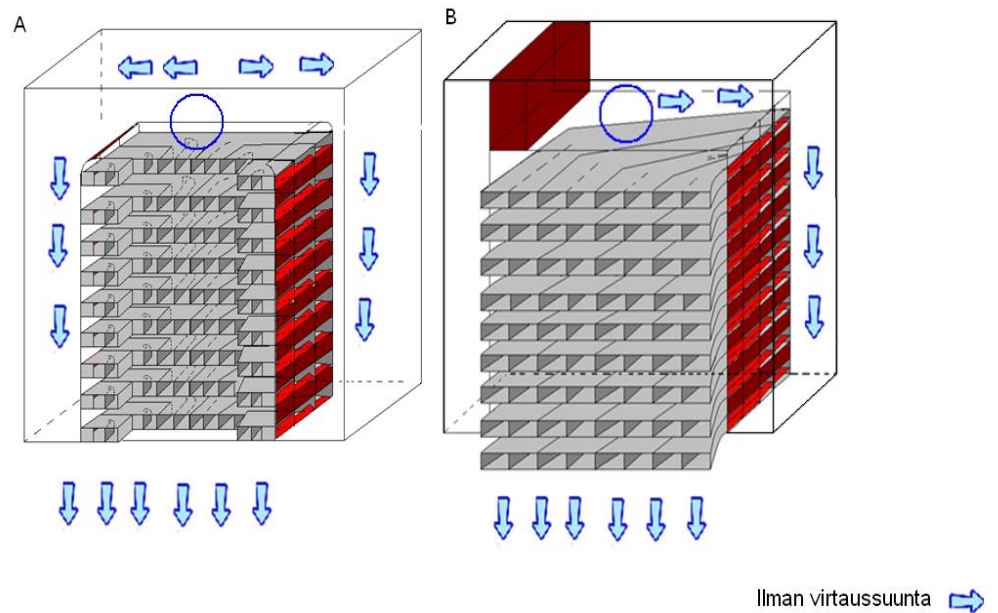


Kuva 17. Puhalluslaatikot. Vasemmalla on toisen ja kolmannen vyöhykkeen puhalluslaatikot. Keskellä on neljännen ja viidennen vyöhykkeen puhalluslaatikot ja oikealla on kuudennen vyöhykkeen puhalluslaatikot.



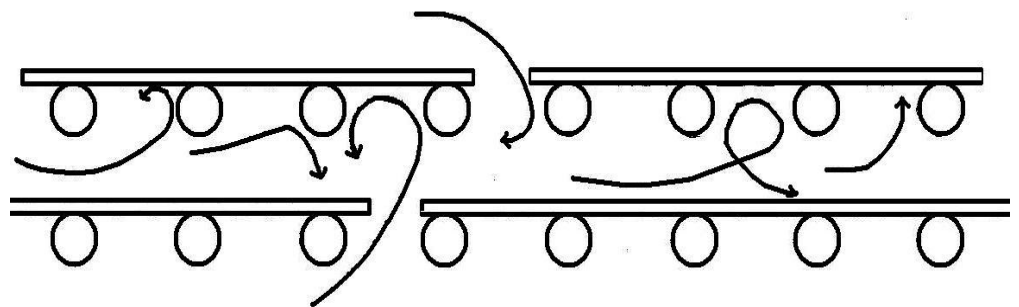
Kuva 18. Ohjauslevyjen vaikutus ilmavirtaukseen. A-piirroksessa ilmavirtaus tulee puhalluslaatikkoon ilman ohjauslevyjä, jolloin ilmavirtaus jakaantuisi kipsilevyille enemmän toiselle puolelle. B-piirroksessa ohjaussiivekkeet jakavat ilmavirtauksen tasaisemmin levyille.

Toisella ja kolmannella vyöhykkeellä puhalluslaatikot tulevat käytävän ja seinän puolelta. Loppupuolen vyöhykkeiden puhalluslaatikot tulevat vain käytävän puolelta (kuva 19). Mitä loivemman ja pidemmän mutkan puhalluslaatikko tekee, niin sitä enemmän kertavastus ”syö” painetta. Tämän vuoksi pidemmän ja kaarevamman putken läpi kulkee pienempi virtaus. Virtauksia pyritään tasapainottamaan säätöpelleillä. Pidemmän mutkan tekevän puhalluslaatikon säätöpellin täytyisi olla enemmän auki kuin lyhyemmän mutkan tekevä. Kuivurin valmistajan asentamat säätöpellit, joita säädetään mutteria löysäämällä ja kääntämällä pelti käsin haarautumisputken sisällä, noudattavat tätä teoriaa. Lyhyimmän puhalluslaatikon säätöpellit ovat lähes kiinni. Keskimmäiset ovat 50 prosenttia auki, ja pisimpien puhalluslaatikoiden säätöpellit ovat kokonaan auki. [12]



Kuva 19. Periaatteelliset rakenteet eri vyöhykkeiden haarautumisputkista, puhalluslaatikoista ja ilmavirtauksien kulkusuunnista. A-kuva on toisen ja kolmannen vyöhykkeen ja B-kuva on neljännen, viidennen ja kuudennen vyöhykkeen rakenteet.

Tasokohtaisten puhalluslaatikoiden jälkeen turbulenttinen ilmavirtaus kulkee tasoilla levyjen välissä. Seinillä olevat levyt pyrkivät tasoittamaan turbulenttisuutta. Ilmavirtaus pyörii telojen välissä samalla kuivaten ylemmällä tasolla kulkevaa levyä. Ilmavirtaus voi myös kulkeutua tasoilta toisille levyjen välisistä koloista. (Kuva 20.)

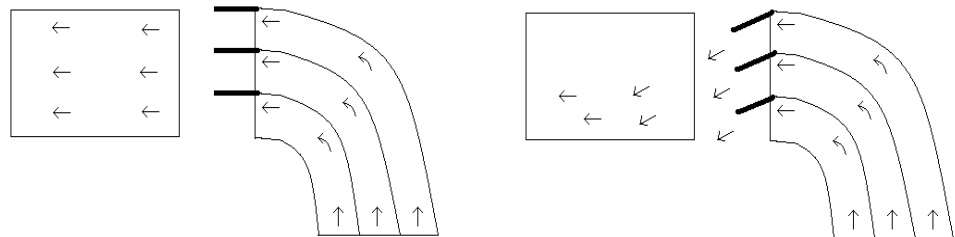


Kuva 20. Virtaus on turbulenttista ja liikkuu pyörien eteenpäin levyjen ja telojen välissä [10, s. 47].

Vyöhykkeiden loputtua tulee haarautumisputki, johon ilmavirtaus tulee ilmo-ohjureiden kautta. Ohjureissa ei ole peltejä estämässä ilmavirtauksen pääsyä haarautumisputkeen, paitsi toisella ja kolmannella vyöhykkeellä, joiden loppupuolen ohjurit ja pellit ovat samanlaiset kuin alkupuolen.

5.2.5 Sivuttaisohjurit

Neljännän, viidennen ja kuudennen vyöhykkeen puhalluslaatikoiden päissä on säädettävät sivuttaisohjurit (kuva 21). Näiden ohjureiden tarkoitus on ohjata ilmavirtaa levyn reunoille. Suoraan eteenpäin ohjattuna sivuttaisohjurit ohjaavat ilmavirran suoraan eteenpäin. Sivuille käännettynä ne ohjaavat ilmavirtaa paremmin haluttuun kulmaan jolloin levyjen toinen sivu kuivuu nopeammin kuin toinen.



Kuva 21. Sivuttaisohjureiden käytön vaikutus ilmavirtaukseen. Vasemmalla puolella puhalluslaatikon sivuttaisohjurit ovat suorassa ja ilmavirtaus kulkee suoraan. Oikealla puolella sivuttaisohjurit ovat käännetty eri kulmaan, joten ilmavirtaus kääntyy levyn toiseen laitaan.

5.3 Peltien käyttö

5.3.1 Toisen ja kolmannen vyöhykkeiden peltien käyttö

Vääntökahvoista kääntämällä kääntyvät pellit. Kahvoista tietää kuinka auki pelti on, jos pelti toimii oikein eikä ole vahingoittunut. Toisen ja kolmannen vyöhykkeen kahvoihin on merkitty ylös "open", joka tarkoittaa auki ja alas "closed", joka tarkoittaa kiinni. Kun kahva väännetään open-asentoon, niin pelti on kokonaan auki. Kahvaa lähdetessä vääntämään kohti closed-asentoa, rupeaa pelti sulkeutumaan. Puoleen väliin käännettynä, pelti on kääntynyt myös puoleen väliin. Closed-asennossa pelti on kokonaan kiinni. (Kuva 22.)



Kuva 22. Toisen ja kolmannen vyöhykkeiden peltien ja kahvojen käyttö. Vasemmalla on pelti kokonaan auki. Keskellä pelti on auki 50 % ja oikealla pelti on kokonaan kiinni.

5.3.2 Neljännen ja viidennen vyöhykkeen peltien käyttö

Neljännen ja viidennen vyöhykkeen kahvat ovat numeroitu nollasta kuuteen. Nolla tarkoittaa täysin kiinni ja kuusi täysin auki. Suljettuna pelti ei päästä ohitseen ilmvirtaa. Suurempaa lukua kohti käännettäessä pelti kääntyy ja suurentaa ilmanvirtauksen käyttämää kanavaa. Numerossa kolme, pelti on käännetty 45 asteen kulmaan. Täysin avonaisena pelti on poikittain kanavan edessä, jolloin se päästää ohitseen maksimaalisen ilmvirtauksen. (Kuva 23.)



Kuva 23. Neljännen ja viidennen vyöhykkeen peltien ja kahvojen käyttö. Vasemmalla on pelti kokonaan auki. Keskellä pelti on auki 50 % ja oikealla pelti on kokonaan kiinni.

5.3.3 Kuudennen vyöhykkeen peltien käyttö

Kuudennen vyöhykkeen säätökahvat koostuvat kahdesta vivusta. Vivut säätävät kuivurin eri puolen peltejä, jotka ovat asetettu vierekkäin. Kahvoja ei ole merkitty alun perin miten auki tai kiinni ne ovat, vaan niihin on tussilla merkitty mihin suuntaan kahvojen täytyy olla. Vasemman puoleinen pelti on auki vasemman vivun osoittaessa vasemmalle ja oikean puoleinen pelti on auki oikean vivun osoittaessa ylös. Kun vasemman puoleinen vipu osoittaa alas, niin vasen pelti on kiinni. Oikean puolen vivun osoittaessa oikealle on oikean puolen pelti kiinni. (Kuva 24.)



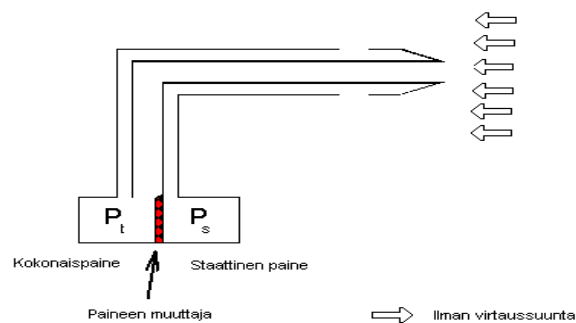
Kuva 24. Kuudennen vyöhykkeen säätöpeltien ja kahvojen käyttö. Vasemmassa reunassa ovat molemmat pellit auki. Keskellä on vasen pelti auki ja oikea kiinni. Oikeassa reunassa ovat molemmat pellit kiinni.

6 EMPIIRINEN OSA

Suoritettujen ilmavirtausmittausten avulla oli tarkoitus luoda mahdollisimman tasaiset ilmavirtaukset tasoille kuivurin jokaisella vyöhykkeellä. Tarkoituksena oli myös havainnollistaa säätöpellin asennon muuttamisen vaikutusta ilmavirtauksien jakaantumiseen tasoilla.

6.1 Mittausvälineistö

Mittauksia varten tilattiin yhdistelmämittari Testo 435-4, johon saatiin 1500 mm:n pitot-putki. Pitot-putkella mitataan virtaavan aineen kokonaispainetta. Mittaustilanteessa putki asetetaan kohtisuoraa virtausta vastaan. Kokonaispaine on staattisen paineen ja dynaamisen paineen summa. Dynaamisesta paineesta voidaan laskea esim. virtausnopeus. Pitot-putki kestää lämpötilaa 600 °C:seen. (Kuva 25).



Kuva 25. Pitot-putken toimintaperiaate.

Suoran pitot-putken toimitus pidentyi tavarantoimittajan loputtua valmistajan varastosta, joten mittauksia suoritettiin aluksi yrityksen vanhalla 1000 mm:llä I-mallisella pitot-putkella. Ongelmana I-mallisella putkella on sen muoto, jonka takia se ei mahdu neljännen ja viidennen vyöhykkeen mittapisteisiin. (Kuva 26.)



Kuva 26. Mittauksissa käytetty välineistö. Vasemmalla on yhdistelmämittari Testo 435-4 ja oikealla I-mallinen pitot-putki.

6.2 Mittausten alkutilanne

Käsin säädettävien peltien asennot olivat ennen mittauksia epäselvässä järjestyksessä. Kuivuria käytettäessä ja huollettaessa peltejä on käännetty eikä vanhoja paikkoja ole merkitty eikä tuloksia peltien käännön vaikutuksista ole tehty. Ainoastaan toisen ja kolmannen vyöhykkeen mutterilla säädettävät säätöpellit olivat alkuperäisissä asennoissa. Poistoilmapuolen mutterisäätöpellit olivat kaikki täysin auki. Tuloilmapuolen pisimmälle puhaltavan puhalluslaatikon pelti oli täysin auki ja lyhyemmälle puhaltavan puhalluslaatikon säätöpelti oli puoliksi auki noin 45 asteen kulmassa.

Kahvalla säädettävien säätöpeltien alkutilanteen kartoitus tapahtui kahvojen ja peltien kunnon tarkistamisella ja asennon ylöskirjaamisella (liite 1). Kokeilemalla testattiin kääntyvätkö säätöpellit, kun kahvasta vääntää. Samalla tarkistettiin kuinka hyvin kahvan asento vastasi peltin asentoa. Suurin osa kääntyy hyvin ilman suurempaa vääntöä. Osa säätöpelleistä tai kuivurin rakenteista niiden ympärillä on kolhiintunut tai lämmön vaikutuksesta muokautunut niin, että säätöpelti tarraa kiinni rakenteeseen. Nämä säätöpellit kääntyvät, kun väännetään kahvaa kovempaa, mutta vaarana on kääntömekanismin hajoaminen rasituksesta.

Kolmannen vyöhykkeen poistoilmapuolen säätöpellit toiselle, neljännelle ja kuudennelle tasolle kääntyvät kahvasta vääntämällä väärin päin. Kahvaa väännettäessä auki-asentoon näiden tasojen säätöpelti sulkeutuu. Tämä johtuu vaijereista, jotka ovat kiristetty näiden tasojen säätöpeltien kääntömekanismeja päin (kuva 27). Vaijereista johtuva jännitys kääntömekanismeissa aiheuttaa säätöpeltin kääntymisen toiseen suuntaan kuin sen kuuluisi.



Kuva 27. Vaijeri, joka jännittää säätöpellin kääntömekanismia. Tästä johtuu säätöpeltien väärään suuntaan kääntyminen kolmannen vyöhykkeen poistoilmapuolen toisella, neljännellä ja kuudennella tasolla.

6.3 Toimintatapa mittaukselle

Alkuperäiset mittaus suunnitelmat epäonnistuivat suoran virtausanturiputken toimituksen myöhästyessä, joten aluksi suoritettiin mittaukset paikoista, joissa on I-malliseen virtausanturille tarpeeksi suuri mittausreikä. Jokaiselle mittaukselle asetettiin ajaksi 20 sekuntia.

Ensimmäiset mittaukset tehtiin toisen vyöhykkeen tuloilmapuolen haarautumisputken jälkeen olevista mittausrei'istä, joista oli tarkoituksena selvittää il-mavirtaukset tasokohtaisesti säätöpeltien alkuperäisissä asennoissa. Seuraavaksi säädettiin kaikki käsin säädettävät pellit testimittaus asentoihin, jotta saataisiin selville, kuinka paljon ilma jakaantuu millekin tasolle. Jakaantumisen perusteella pystyttiin päättämään uudet säätöpeltien asennot, milloin il-mavirtaus jakaantuisi tasaisemmin vyöhykkeen sisäisillä tasoilla. Seuraavaksi suoritettiin kolmannella vyöhykkeellä samat mittaukset.

Toisen ja kolmannen vyöhykkeen seinänpuoleisten mittausreikien takana sijaitsevat rattaat ja ketjut, jotka pyörittävät teloja. Nämä estävät luotettavat mittaukset jokaiselta tasolta. Rattaat ja ketjut tukkivat virtausputken liikkumisen kanavassa, jolloin virtausanturi ei pääse liikkumaan tarpeeksi pitkälle kanavassa. Neljän ylimmän tason onnistuneen mittauksen avulla todettiin virtauksen olevan yhtä suuri seinän ja käytävän puolella. Tämän vuoksi suoritettiin mittaukset lopuksi näillä vyöhykkeillä vain käytävän puolelta, jossa mit-taustuloksista tuli luotettavammasta. Ongelmana näillä vyöhykkeillä oli myös nollatasojen mittaukset käytävän puolella. Virtausanturi ei päässyt liikku-

maan tarpeeksi pitkälle puhalluslaatikon eteen, jolloin mittaustulos ei ollut luotettava ja jätin tulokset pois mittauspöytäkirjoista. Ongelmana oli Pitot-putken joutuminen liian jyrkkään kulmaan mittauspisteellä, jolloin putken pää osui maahan eikä päässyt enää eteenpäin. (Kuva 28.)

Neljännellä vyöhykkeellä suoritettiin mittaukset poistoilmapuolen mittausrei'istä, sillä tuloilmapuolella oli mittauspisteet vain seinän puolella. Alkutilanteen jälkeen asetettiin säätöpellit testimittaus asentoihin. Virtausten jakautumisen perusteella pystyttiin määrittelemään uudet asennot. Viidennellä vyöhykkeellä toimintatapa oli sama, mutta tuloilmapuolelta mitattuna. Ongelmana oli molemmilla vyöhykkeillä seinän puoleiset seitsemäs ja kahdeksas taso, joiden mittausreikien takana sijaitsivat telojen tukirakenteet, jotka estivät mittausanturin liikkumisen. (Kuva 28.)

Pellit asetettiin alkuperäisiin asentoihin aina mittauksen jälkeen. Mittausreiät sijaitsivat vyöhykkeiden alussa haarautumisputkien vieressä. Kuudennella vyöhykkeellä ei ole mittauspisteitä, eikä niitä voitu tehdä aikataulukkiireiden vuoksi.



Kuva 28. Mittauksissa käytetyt mittausreiät. Vasemmalla olevat toisen ja kolmannen vyöhykkeen mittausreiät olivat halkaisijaltaan suuremmat, joten niistä pystyi mittaamaan I-mallisen Pitot-putkella. Oikealla olevat neljännen ja viidennen vyöhykkeen mittausrei'istä pystyi mittaamaan suoralla Pitot-putkella.

Tasokohtaisen jakaantumisen selviytymisen jälkeen mitattiin yhden pellin avaamisen vaikutusta alkutilanteessa. Yhden pellin säädön jälkeen mitattiin jokaisen tason virtaus. Virtaukset mitattiin jokaiselta tasolta, minkä jälkeen asetettiin pelti takaisin alkuasentoon ja säädettiin seuraava pelti täysin auki. Tämä toistettiin jokaiselle tasolle. Mittaukset suoritettiin kolmannelle ja vii-

dennelle vyöhykkeelle, sillä toinen ja neljäs vyöhyke ovat näiden kanssa samanlaiset, joten peltien säädön vaikutus on samanlainen. (Liite 2.)

Avaamisen vaikutuksen jälkeen mitattiin säätöpellin sulkemisen vaikutus. Alkutilanteesta suljettiin yksi pelti kerrallaan täysin kiinni ja mitattiin jokaisen tason virtauksen. Tämän jälkeen avattiin pelti alkuasentoon ja suljettiin seuraava pelti. Seuraavaksi mitattiin jälleen jokaisen tason virtaus. Pellin sulkemisen suoritettiin jokaiselle tasolle kolmannella ja viidennellä vyöhykkeellä. (Liite 3.)

Toisella ja kolmannella vyöhykkeellä tehtiin vielä kahden päällekkäisen säätöpellin avaamisen vaikutuksen ilmapirtauksiin. Tavoitteena oli selvittää, kummalta tasolta kulkee suurempi virtaus ja kuinka paljon enemmän virtausta jakaantuu tasoille, kun kaksi peltiä on täysin auki. (Liite 4.)

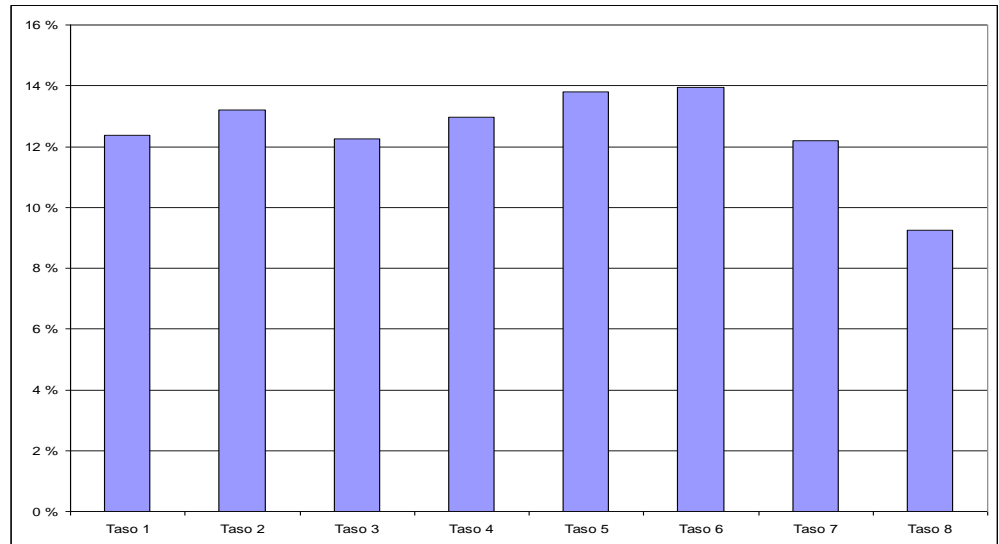
6.4 Mittausten analysointi

Mittausten tulokset tallentuivat yhdistelmämittarin muistiin. Tulokset siirrettiin mittarista tietokoneelle mittarin mukana tulleet Testo Comfort-Software x35 -tietokoneohjelmaan. Ohjelmalta siirrettiin tulokset Microsoft Excel:iin ja tehtiin kuvaajat saaduista arvoista virtausten suhde-erojen hahmottamiseksi tasoilla.

Virtausten suuruudet olivat jokaisessa mitatussa vyöhykkeessä välillä 4 - 20 m/s. Vyöhykkeiden virtauksien nopeuksien erot eivät olleet suuria. Suurimmat erot tulivat tasokohtaisesti, johtuen käsin säädettävien säätöpeltien asennoista. Virtaukset saattoivat samalla vyöhykkeellä olla eri suuria riippuen poistoilmapellin, kiertoilmapellin ja tuloilmapellin asennoista. Tasokohtainen jakautuminen oli kuitenkin samanlaista riippumatta suuruuksista.

6.4.1 Toinen vyöhyke

Toisen vyöhykkeen ilmapirtaukset jakaantuvat säätöpeltien ollessa testimitaus asennoissaan tasaisesti kaikilla muilla tasoilla paitsi kahdeksannella, jossa on pienempi virtaus (kuva 29). Tästä johtuen pitäisi ylimmän tason peltiin olla enemmän auki kuin sen alapuolella olevat tasot.



Kuva 29. Toisen vyöhykkeen ilmavirtauksien jakautuminen testimittauksissa.

Toisen vyöhykkeen alkutilanteessa nolla tason ja kahdeksannen tason säätöpellit olivat täysin kiinni, viidennen tason pelti 75 % auki ja loput 50 % auki. Pienin ilmavirtaus oli kahdeksannella tasolla ja suurimmat virtaukset viidennellä ja neljännellä tasolla, johtuen viidennen tason säätöpellin suurimmasta aukioloasennosta. Yhden pellin ollessa enemmän auki keskimmaisilla tasoilla, syntyy enemmän vaihtelua ilmavirtauksen nopeuksissa (taulukko 2). Ilmavirtaus jakaantuu alkutilanteessa 7 - 15 % tasoilla eli tasoilla on kahdeksan prosenttiyksikön ero keskenään.

Taulukko 2. Ilmavirtauksien jakaantumiset toisella vyöhykkeellä säätöpeltien ollessa eri asennoissa. Vasemman puoleiset prosentit kertovat toisen vyöhykkeen virtauksen jakaantumisen tasokohtaisesti testimittauksissa. Oikeanpuoleiset prosentit kertovat virtauksen jakaantumisen alkuperäisessä tilanteessa.

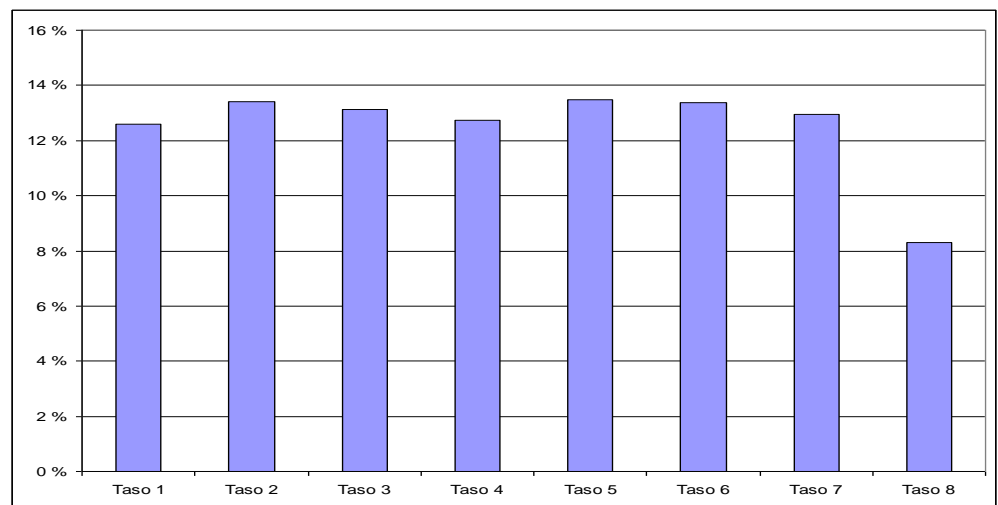
Tasot	Ilmavirtauksen jakautuminen testimittauksissa	Ilmavirtauksen jakautuminen alkutilanteessa
0		
1	12 %	13 %
2	14 %	14 %
3	12 %	13 %
4	13 %	15 %
5	14 %	15 %
6	14 %	13 %
7	13 %	10 %
8	9 %	7 %

Alkutilanteeseen verrattuna yhden tason säätöpellin pellin avaaminen nosti ilmavirtausta kyseisellä tasolla. Keskitasoilla virtauksista tuli suurimmat virtaukset. Seitsemännellä ja kahdeksannella virtaus kasvoi, muttei päässyt suurimpien virtauksien joukkoon säädön jälkeen. (Liite 2.) Säätöpellin sulkemi-

nen kokonaan pienensi aina kyseisen tason virtausta, mikä nosti ympärillä olevien tasojen virtausnopeutta (liite 3).

6.4.2 Kolmas vyöhyke

Kolmannella vyöhykkeellä ilmavirtauksen tasokohtaiset nopeudet säätöpeltien ollessa testimittaus aukioloasennossa poikkeavat hieman toisen vyöhykkeen arvoista. Kolmannella vyöhykkeellä kahdeksannella tasolla on pienempi ilmavirtaus kuin muilla tasoilla. Seitsemännellä tasolla on suurempi kuin kahdeksannella, mutta pienempi kuin keskitasoilla (kuva 30).



Kuva 30. Ilmavirtauksien nopeuksien jakautuminen kolmannella vyöhykkeellä säätöpeltien ollessa testimittaus asennoissa.

Ilmavirtaus jakaantuu alkutilanteessa 7 - 15 % tasoilla eli tasoilla on kahdeksan prosenttiyksikön ero keskenään. (Taulukko 3.)

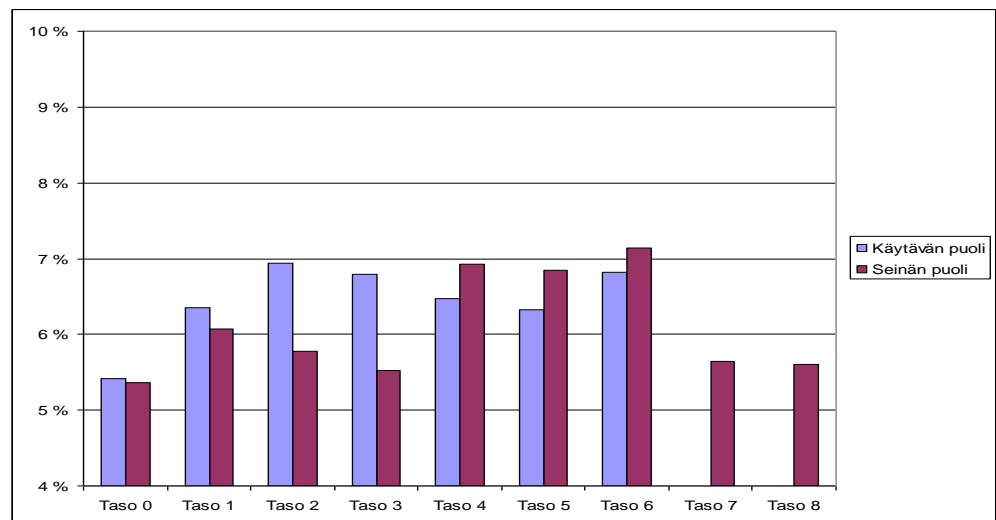
Taulukko 3. Ilmavirtauksien jakaantuminen kolmannella vyöhykkeellä säätöpeltien ollessa alkuasennossa. Vasemman puoleiset prosentit kertovat virtauksien jakaantumisen tasokohtaisesti peltien ollessa testimittaus asennoissaan. Oikeanpuoleiset prosentit kertovat virtauksen jakaantumisen alkuperäisessä tilanteessa.

Tasot	Ilmavirtauksen jakautuminen testimittauksissa	Ilmavirtauksen jakautuminen alkutilanteessa
0		
1	14 %	13 %
2	13 %	15 %
3	13 %	13 %
4	13 %	13 %
5	13 %	13 %
6	14 %	15 %
7	12 %	11 %
8	8 %	7 %

Kahden viereisen pellin säätäminen kokonaan auki kolmannella vyöhykkeellä nosti molempien säädettyjen peltien tasojen virtausta. Keskitasolle virtauksista tuli kaikista suurimpia, mutta seitsemännellä ja kahdeksannella virtaus vain kohosi muttei saavuttanut suurimpia arvoja tasojen välisissä vertailuissa. (Liite 3).

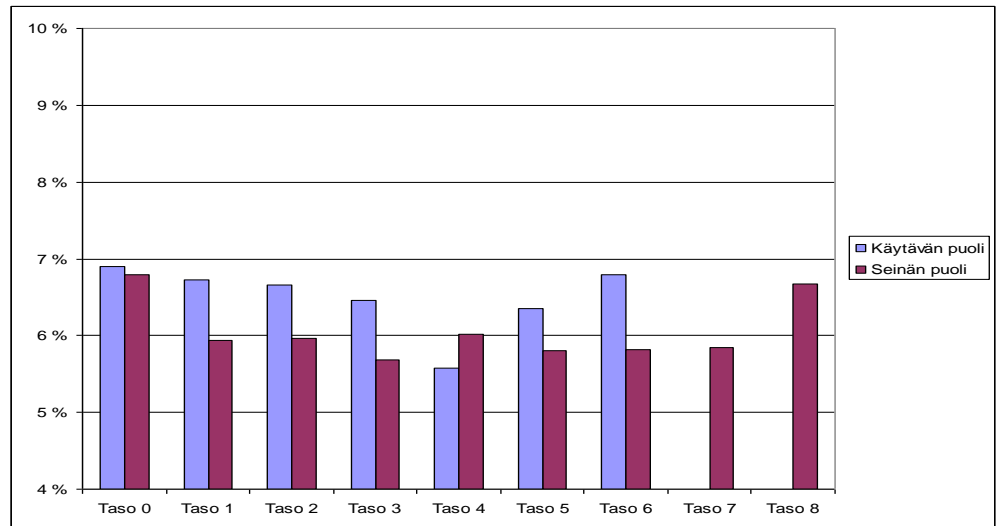
6.4.3 Neljäs vyöhyke

Vyöhykkeellä sijaitsivat mittauspisteet tuloilman puolella vain seinän puolella, mutta poistoilmapuolella molemmilla puolilla. Mittasin tulokset poistoilmapuolelta, jossa virtaukset ovat tasaantuneet huomattavasti. Alkutilanteen virtauksista huomaa kuitenkin alimpien tasojen olevan pienempiä, kuin ylempien tasojen johtuen kiinni olevista säätöpelleistä. Myös seitsemännellä ja kahdeksannella tasolla on hieman alhaisemmat virtaukset kuin keskitasolla. Ongelmana mittauksissa oli seinän puoleiset seitsemäs ja kahdeksas taso, joiden mittausreikien jälkeen olivat telojen tukitelineet estämässä mittauksia. (Kuva 31.)



Kuva 31. Neljännen vyöhykkeen ilmavirtauksien jakautuminen säätöpeltien ollessa alkutilanteessa.

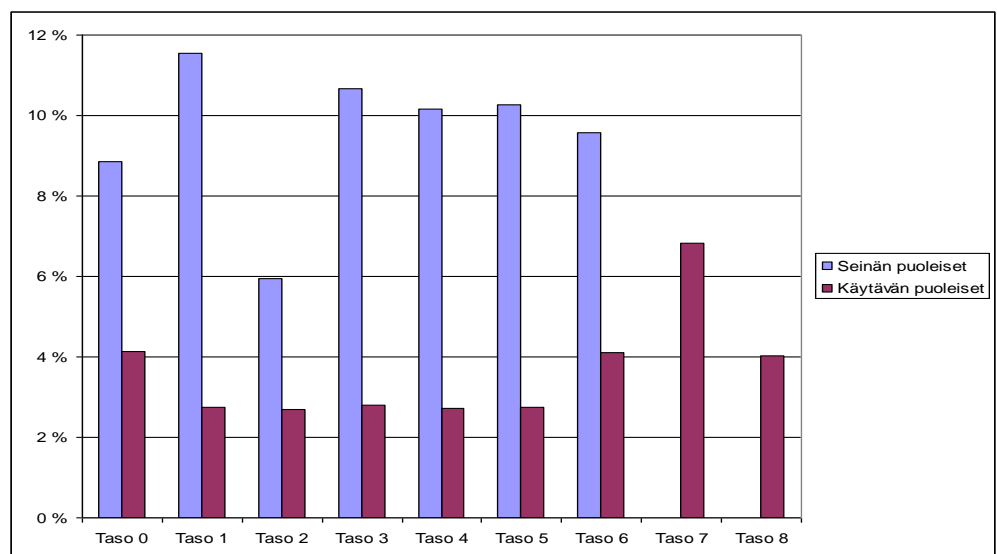
Seuraavaksi mitattiin virtaukset kaikkien säätöpeltien ollessa yhtä paljon auki. Tällöin virtaus jakaantui tasaisemmin kaikille tasoille. Ero pienimmän ja suurimman tasokohtaisen virtauksen välillä on enää vähän yli yhden prosenttiyksikön verran. (Kuva 32.)



Kuva 32. Neljännen vyöhykkeen ilmavirtausten jakautuminen tasokohtaisesti säätöpeltien ollessa testimittausasennoissaan.

6.4.4 Viides vyöhyke

Viidennellä vyöhykkeellä ongelmana mittauksissa olivat seinän puolella olevat seitsemäs ja kahdeksas taso. Näiden tasojen mittauspisteiden takana olivat telojen tukitelineet, jotka estivät mittausten tekemisen. Viidennellä vyöhykkeellä virtausten jakautuminen alkutilanteessa oli todella erilaista käytävän ja seinän puoleisille levyille. Erona saattoi olla jopa yli kymmenen prosenttiyksikköä (kuva 33). Ilmavirtausten suuret erot johtuvat siitä, kun seinän puoleiset säätöpellit olivat enemmän auki, kuin käytävän puoleiset pellit (taulukko 4).

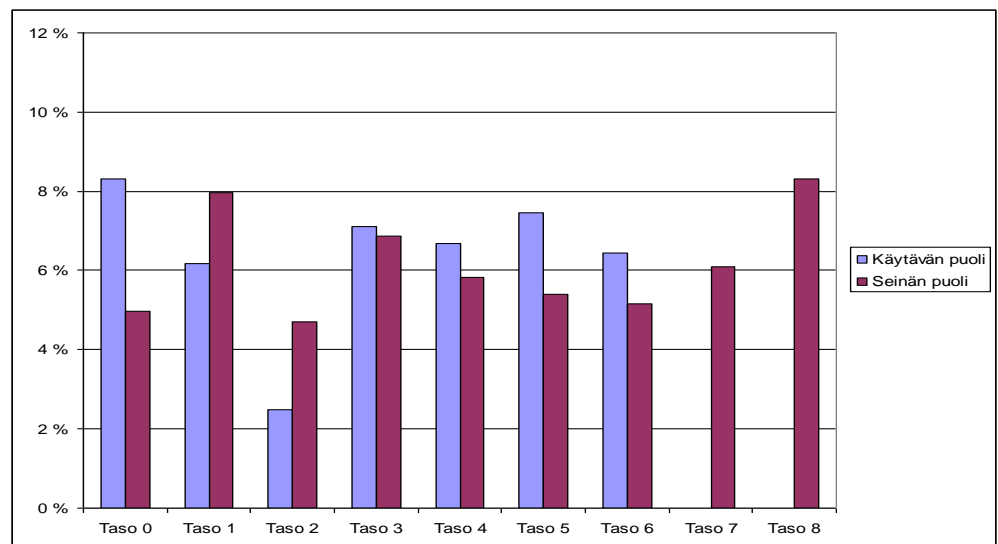


Kuva 33. Viidennen vyöhykkeen ilmavirtausten jakautuminen tasokohtaisesti seinän ja käytävän puolelle alkutilanteessa.

Taulukko 4. Viidennen vyöhykkeen alkutilanteen aukioloasennot ja ilmavirtauksien jakautuminen.

Tasot	Ilmavirtauksien jakautuminen seinän puolelle	Ilmavirtauksien jakautuminen käytävän puolelle
0	9 %	4 %
1	12 %	3 %
2	6 %	3 %
3	11 %	3 %
4	11 %	3 %
5	11 %	3 %
6	10 %	4 %
7		7 %
8		4 %

Kun viidennen vyöhykkeen säätöpellit säädettiin testimittausasentoihin, ilmavirtaus jakaantui tasaisemmaksi, kuin alkutilanteessa. Muutamat hieman korkeammat virtaukset ovat seinän puoleisilla tasoilla nolla ja viisi, sekä käytävän puoleisilla tasoilla yksi ja kahdeksan. Toisella tasolla seinän puolella on huomattavasti pienempi virtaus, kuin muilla tasoilla. Kyseisen tason säätöpeltiä säädettäessä virtaus ei muutu laisinkaan. (Kuva 34.)



Kuva 34. Ilmavirtauksien jakautuminen viidennellä vyöhykkeellä tasokohtaisesti seinän ja käytävän puolelle, silloin kun kaikki säätöpellit ovat täysin auki.

Viidennellä vyöhykkeellä yhden pellin avaaminen tai sulkeminen vaikuttaa huomattavasti ilmavirtaukseen. Liitteessä 4 havaitaan yhden pellin avaamisen vaikutuksen ilmavirtauksen jakaantumiseen. Tällöin suurin ilmavirtaus on tasoilla, joilla on säätöpelti täysin auki. Pellin ollessa täysin avonaisena

verrattuna sen ollessa täysin kiinni eroa keskimääräisessä virtauksessa voi olla peräti 10 m/s. Liitteessä 5 havaitaan säätöpeltien sulkemisen kokonaan laskevan virtauksen noin viiteen metriin sekunnissa, kun pellin ollessa täysin auki virtaus voi olla 15 m/s.

6.4.5 Kuudes vyöhyke

Kuudennella vyöhykkeellä ei sijainnut mittauspisteitä laisinkaan, joten mittauksia ei pystynyt suorittamaan. Mittaustuloksia tarkasteltaessa muilta vyöhykkeiltä voidaan olettaa, että jakautuminen on samankaltaista. Suuria eroja virtauksilla ei olisi tasokohtaisesti säätöpeltien ollessa yhtä paljon auki, joten suuret erot tasokohtaisten säätöpeltien asennoissa vain lisäävät virtausten jakautumisten eroavaisuutta. Säätöpellit ovat alkutilanteessa nolasta sataan prosenttiin auki, mistä voi olettaa että virtausten jakautuminen alkutilanteessa on suurta.

6.5 Uudet asennot ja tulokset

6.5.1 Toinen ja kolmas vyöhyke

Ilmavirtaus jakaantuu epätasaisesti tasoille säätöpeltien ollessa testimittausasennoissaan. Tulosten ansiosta voitiin uudet asennot määrittää ja saatiin paljon tasaisemmat ilmavirtaukset tasoille. (Taulukko 6.)

Taulukko 6. Toisen ja kolmannen vyöhykkeen säätöpeltien aukioloasennot ja virtauksen jakaantuminen alkutilanteessa ja säätöpeltien asentojen muuttamisen jälkeen.

2. vyöhykkeen tasot	Ilmavirtauksen jakaantuminen alkutilanteessa 2.vyöhykkeellä	Ilmavirtauksen jakaantuminen muutosten jälkeen 2. vyöhykkeellä
0		
1	13 %	13 %
2	14 %	12 %
3	13 %	12 %
4	15 %	12 %
5	15 %	12 %
6	13 %	14 %
7	10 %	13 %
8	7 %	13 %
3. vyöhykkeen tasot	Ilmavirtauksen jakaantuminen alkutilanteessa 3.vyöhykkeellä	Ilmavirtauksen jakaantuminen muutosten jälkeen 3.vyöhykkeellä
0		
1	13 %	13 %
2	15 %	13 %
3	13 %	12 %
4	13 %	12 %
5	13 %	12 %
6	15 %	13 %
7	11 %	13 %
8	7 %	12 %

6.5.2 Neljäs ja viides vyöhyke

Neljännän vyöhykkeen tasoille tulivat tasaiset virtaukset testimittauksissa. Viidennellä vyöhykkeellä jouduttiin muutamalla tasolla pienentämään hieman peltien aukioloasentoja. Säätöpeltejä säädettiin testimittauksista saatujen tulosten avulla. Lopputuloksena oli muuten tasainen paitsi seinän puoleinen toinen taso, jonka virtaukset eivät muutu. (Taulukko 7.)

Taulukko 7. Viidennen vyöhykkeen säätöpeltien aukioloasennot alussa ja muutosten jälkeen, sekä virtaukset kyseisillä asennoilla.

5. Vyöhykkeen Tasot	Ilmavirtauksen jakautuminen seinän puolella alkutilanteessa	Ilmavirtauksen jakautuminen käytävän puolella alkutilanteessa
0	9 %	4 %
1	12 %	3 %
2	6 %	3 %
3	11 %	3 %
4	10 %	3 %
5	10 %	3 %
6	10 %	4 %
7		7 %
8		4 %
5. Vyöhykkeen Tasot	Ilmavirtauksen jakautuminen seinän puolella muutoksen jälkeen	Ilmavirtauksen jakautuminen käytävän puolella muutoksen jälkeen
0	6 %	6 %
1	7 %	7 %
2	2 %	6 %
3	7 %	7 %
4	6 %	6 %
5	7 %	6 %
6	6 %	6 %
7		7 %
8		6 %

7 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä tutkittiin kipsilevyjen kuivauksessa käytettävän kuivurin ilmavirtauksien jakautumista tasokohtaisesti. Tavoitteena oli tasoittaa virtaukset yhtä suuriksi eri tasoille kuudella eri vyöhykkeellä. Kahdeksalta tasolta saattoi tulla eri tavalla kuivuneita kipsilevyjä johtuen erilaisista olosuhteista. Työn avulla pyrittiin tasaamaan kipsilevyjen kuivumisten laatua ilmavirtausten avulla.

Ilmavirtausten jakautumista voitiin ohjata jokaisella vyöhykkeellä olevilla tasokohtaisilla säätöpelleillä. Peltejä avaamalla tai sulkemalla pystyttiin lisäämään tai vähentämään ilmavirtauksen määrää tasoille. Säätöpeltien jälkeen ilmavirtaus siirtyy ilmakehää pitkin tasoille. Ilmakehät ja säätöpellit ovat erilaisia rakenteiltaan eri vyöhykkeillä.

Ennen työn aloittamista säätöpeltien aukioloasennot olivat epäjärjestyksessä jokaisella vyöhykkeellä, minkä vuoksi ilmavirtaukset olivat todella poikkeavia toisistaan eri tasoilla. Mittaukset suoritettiin kaikilta muilta vyöhykkeiltä paitsi kuudennelta, johon ei ole tehty mittausreikiä. Alkutilanteen jälkeen mitattiin

testimittaus, jossa selvitettiin virtausten jakaantuminen, kun säätöpellit olivat samoissa asennoissa. Mittaustulosten perusteella voitiin päätellä uudet aukioloasennot pelleille. Uusien aukioloasentojen ansiosta saavutettiin tasaisemmat virtaukset tasoille.

VIITELUETTELO

- [1] Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. Yritysesittely [verkkodokumentti, viitattu 7.2.2008]. Saatavissa: [http://www.gyproc.fi/gyproc/content.nsf/docsByld/2703DF60C 52A8431C12571CD003EEB0A?OpenDocument&m=mamh](http://www.gyproc.fi/gyproc/content.nsf/docsByld/2703DF60C52A8431C12571CD003EEB0A?OpenDocument&m=mamh)

- [2] Saint Gobain -konsernin yritysesittely, Powerpoint-esitys

- [3] Kiviopas, Kipsi - opintomateriaali [verkkodokumentti, viitattu 24.1.2008]. Saatavissa: [<http://www.kiviopas.fi/opetus/mineraal/kipsi.htm>]

- [4] Danoline, Kipsi – luonnon oma materiaali [verkkodokumentti, viitattu 24.1.2008]. Saatavissa: http://danoline-fi.com/properties/environment/env_gypsum.html

- [5] Saint-Gobain Rakennustuotteet, Kipsilevyt [verkkodokumentti, viitattu 24.1.2008]. Saatavissa: <http://www.gyproc.dk/gyproc/content.nsf/docsByld/EA45801C08A799F0C2256DB9001DABDB?OpenDocument&m=mmmb>

- [6] BPB:n Gyproc prosessin opetusmateriaali, Plasterboard drying

- [7] Gyproc prosessin opetusmateriaali, Kipsilevyn kuivausprosessi

- [8] Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy, Kipsilevyn valmistus [verkkodokumentti, viitattu 7.2.2008]. Saatavissa: <http://www.gyproc.fi/gyproc/content.nsf/docsByld/110ACA88E2A36C47C2256DAC0040352E?OpenDocument&m=mame>

- [9] John Lienhard, A heat transfer textbook [verkkodokumentti, viitattu 25.1.2008]. Saatavissa: <http://web.mit.edu/lienhard/www/ahtt.html>

- [10] BPB:n opetusmateriaali, kipsilevyn kuivaaminen 30.01.2004.

- [11] Otavan Opisto, Rakennusalan perustutkinnon opintomateriaali [verkkodokumentti, viitattu 24.1.2008]. Saatavissa:
<http://194.111.144.156/rakennusalanperustutkinto/lampo/kosteudesta.htm>

- [12] Perttula, Jarmo, Energiatekniikka. Porvoo: WSOY. 2000.

- [13] Fläkt Industri AB, Gipsskivefabrik –ohjekirja.

- [14] Norrgård, Helen, En studie av torkningsprocessen vid gipsskivframställning. Åbo Akademi. Kemisk-tekniska avdelning. Turku. 1995.

SÄÄTÖPELTIENTEN ALKUPERÄISET AUKIOLOASENNOT

2. vyöhyke manuaalipeltien asennot, Tuloilma		
	Käytävän puoli	Seinän puoli
Tasot	Asento (Auki %)	Asento (Auki %)
8	0	100
7	50	100
6	50	100
5	75	100
4	50	100
3	50	60
2	50	100
1	50	90
0	0	90
2. vyöhyke manuaalipeltien asennot, Poistoilma		
	Käytävän puoli	Seinän puoli
Tasot	Asento (Auki %)	Asento (Auki %)
8	33	90
7	10	90
6	10	90
5	40	90
4	20	90
3	50	100
2	50	90
1	40	90
0	40	90
4. vyöhyke manuaalipeltien asennot, Tuloilma		
	Käytävän puoli	Seinän puoli
Tasot	Asento (Auki %)	Asento (Auki %)
8	10	33
7	67	80
6	67	80
5	67	60
4	67	67
3	60	60
2	0	75
1	0	80
0	0	33
6. vyöhyke manuaalipeltien asennot, Tuloilma		
	Käytävän puoli	Seinän puoli
Tasot	Asento (Auki %)	Asento (Auki %)
8	10	40
7	50	75
6	40	80
5	40	80
4	40	70
3	50	0
2	100	85
1	50	60
0	50	50

3. vyöhyke manuaalipeltien asennot, Tuloilma		
	Käytävän puoli	Seinän puoli
Tasot	Asento (Auki %)	Asento (Auki %)
8	0	40
7	40	100
6	60	100
5	50	100
4	50	100
3	50	90
2	100	100
1	40	90
0	50	90
3. vyöhyke manuaalipeltien asennot, Poistoilma		
	Käytävän puoli	Seinän puoli
Tasot	Asento (Auki %)	Asento (Auki %)
8	40	50
7	50	20
6	50	60
5	33	50
4	40	50
3	50	75
2	50	20
1	50	75
0	0	70
5. vyöhyke manuaalipeltien asennot, Tuloilma		
	Käytävän puoli	Seinän puoli
Tasot	Asento (Auki %)	Asento (Auki %)
8	25	50
7	67	75
6	67	80
5	33	80
4	50	80
3	33	80
2	25	67
1	20	100
0	10	50

**TOISEN VYÖHYKKEEN YHDEN SÄÄTÖPELLIN AVAAMISEN VAIKUTUS ILMAVIR-
TAUKSEN JAKAANTUMISEEN TASOKOHTAISESTI**

Taso	Säätöpel- tien au- kioloasen- not alussa	Ilmavirtauk- sen jakau- tuminen	Muutettu säätöpel- tien au- kioloasen- toja	Ilmavirtauk- sen jakau- tuminen	Muutettu säätöpel- tien au- kioloasen- toja	Ilmavirtauk- sen jakau- tuminen	Muutettu säätöpel- tien au- kioloasen- toja	Ilmavirtauk- sen jakau- tuminen	Muutettu säätöpel- tien au- kioloasen- toja	Ilmavirtauk- sen jakau- tuminen
0	0		0		0		0		0	
1	50	13 %	<u>100</u>	<u>16 %</u>	50	11 %	50	12 %	50	12 %
2	50	14 %	50	11 %	<u>100</u>	<u>15 %</u>	50	13 %	50	15 %
3	50	13 %	50	13 %	50	10 %	<u>100</u>	<u>14 %</u>	50	12 %
4	50	15 %	50	14 %	50	14 %	50	13 %	<u>100</u>	<u>16 %</u>
5	75	15 %	75	16 %	75	16 %	75	15 %	75	14 %
6	50	13 %	50	13 %	50	14 %	50	14 %	50	13 %
7	50	10 %	50	10 %	50	11 %	50	12 %	50	10 %
8	0	7 %	0	8 %	0	8 %	0	7 %	0	8 %
	Muutettu säätöpel- tien au- kioloasen- toja	Ilmavirtauk- sen jakau- tuminen	Muutettu säätöpel- tien au- kioloasen- toja	Ilmavirtauk- sen jakau- tuminen	Muutettu säätöpel- tien au- kioloasen- toja	Ilmavirtauk- sen jakau- tuminen	Muutettu säätöpel- tien au- kioloasen- toja	Ilmavirtauk- sen jakau- tuminen		
0	0		0		0		0			
1	50	13 %	50	14 %	50	13 %	50	11 %		
2	50	15 %	50	13 %	50	13 %	50	13 %		
3	50	13 %	50	13 %	50	12 %	50	11 %		
4	50	13 %	50	13 %	50	14 %	50	13 %		
5	<u>100</u>	<u>13 %</u>	75	14 %	75	15 %	75	16 %		
6	50	15 %	<u>100</u>	<u>14 %</u>	50	16 %	50	14 %		
7	50	11 %	50	11 %	<u>100</u>	<u>10 %</u>	50	12 %		
8	0	8 %	0	7 %	0	7 %	<u>100</u>	<u>10 %</u>		

TOISEN VYÖHYKKEEN YHDEN SÄÄTÖPELLIN SULKEMISEN VAIKUTUS ILMAVIRTAUKSEN NOPEUDEN JAKAANTUMISEEN TASOKOHTAISESTI

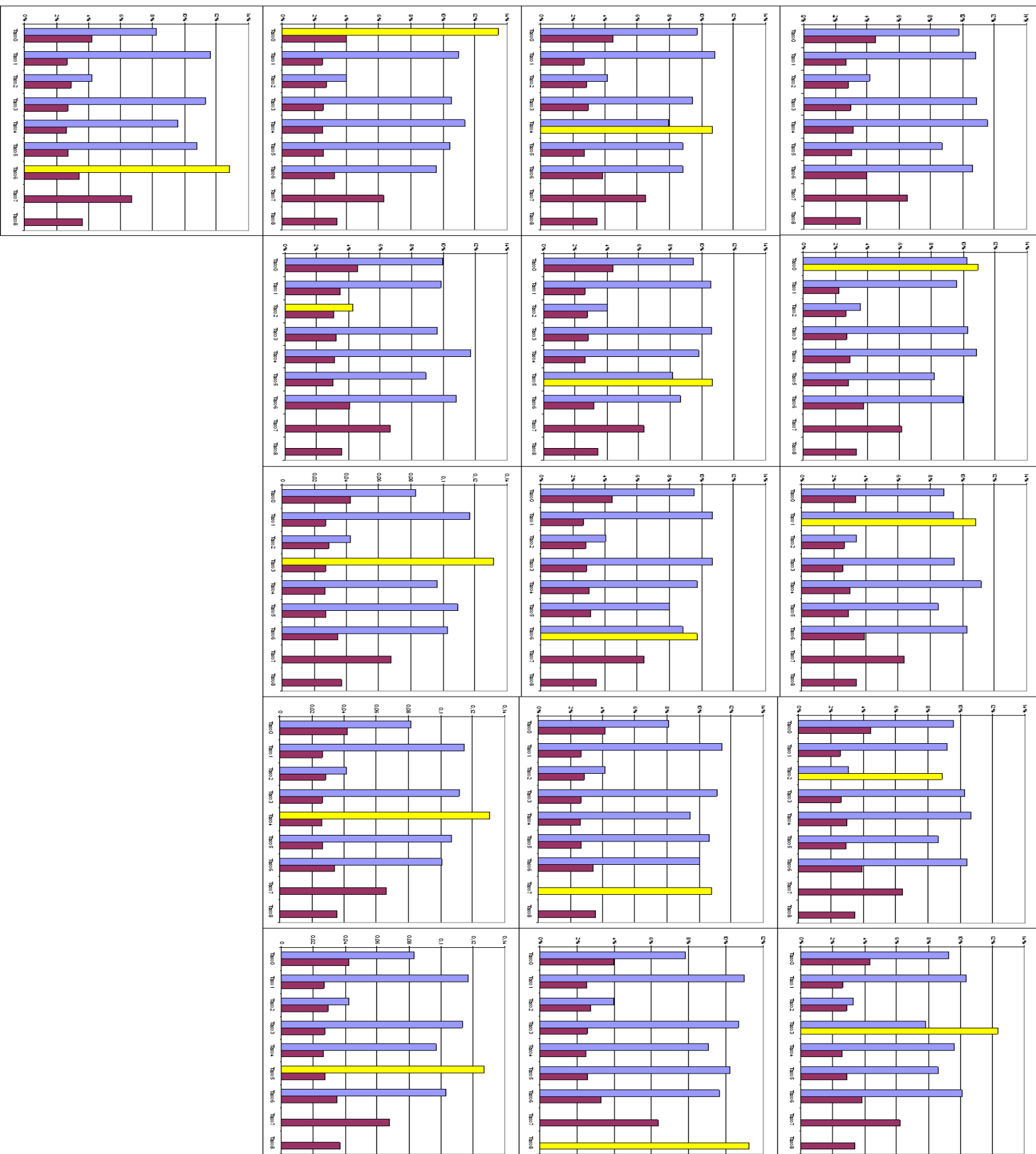
Tasot	Säätöpellien aukioloaennot alussa	Ilmavirtauksen jakautuminen	Muutettu säätöpellien aukioloaennot	Ilmavirtauksen jakautuminen	Muutettu säätöpellien aukioloaennot	Ilmavirtauksen jakautuminen	Muutettu säätöpellien aukioloaennot	Ilmavirtauksen jakautuminen
0	0		0		0		0	
1	50	13 %	0	9 %	50	14 %	50	14 %
2	50	14 %	50	13 %	0	9 %	50	13 %
3	50	13 %	50	13 %	50	12 %	0	8 %
4	50	15 %	50	14 %	50	13 %	50	15 %
5	75	15 %	75	15 %	75	15 %	75	16 %
6	50	13 %	50	15 %	50	15 %	50	14 %
7	50	10 %	50	13 %	50	15 %	50	13 %
8	0	7 %	0	7 %	0	8 %	0	6 %

Tasot	Muutettu säätöpellien aukioloaennot	Ilmavirtauksen jakautuminen	Muutettu säätöpellien aukioloaennot	Ilmavirtauksen jakautuminen	Muutettu säätöpellien aukioloaennot	Ilmavirtauksen jakautuminen	Muutettu säätöpellien aukioloaennot	Ilmavirtauksen jakautuminen
0	0		0		0		0	
1	50	14 %	50	15 %	50	16 %	50	16 %
2	50	14 %	50	15 %	50	14 %	50	15 %
3	50	13 %	50	13 %	50	15 %	50	14 %
4	0	9 %	50	10 %	50	10 %	50	11 %
5	75	16 %	0	10 %	75	16 %	75	16 %
6	50	14 %	50	15 %	0	12 %	50	15 %
7	50	12 %	50	13 %	50	10 %	0	7 %
8	0	7 %	0	9 %	0	8 %	0	7 %

KOLMANNEN VYÖHYKKEEN KAHDEN SÄÄTÖPELLIN AVAAMISEN VAIKUTUS ILMAVIRTAUKSEN NOPEUDEN JAKAANTUMISEEN TASOKOHTAISESTI

Tasot	Alkutilanne	Ilmavirtauksien jakautuminen	Säätöpelltien asentaja muutettu	Ilmavirtauksien jakautuminen	Säätöpelltien asentaja muutettu	Ilmavirtauksien jakautuminen	Säätöpelltien asentaja muutettu	Ilmavirtauksien jakautuminen
0	0		0		0		0	
1	40	13 %	40	13 %	40	13 %	40	13 %
2	100	15 %	100	14 %	100	16 %	100	17 %
3	50	13 %	50	13 %	50	13 %	50	12 %
4	50	13 %	50	13 %	50	13 %	50	13 %
5	50	13 %	50	12 %	50	13 %	<u>100</u>	11 %
6	60	15 %	60	14 %	<u>100</u>	12 %	<u>100</u>	15 %
7	40	11 %	<u>100</u>	10 %	<u>100</u>	13 %	40	11 %
8	0	7 %	<u>100</u>	12 %	0	8 %	0	7 %

Tasot	Alkutilanne	Ilmavirtauksien jakautuminen	Säätöpelltien asentaja muutettu	Ilmavirtauksien jakautuminen	Säätöpelltien asentaja muutettu	Ilmavirtauksien jakautuminen	Säätöpelltien asentaja muutettu	Ilmavirtauksien jakautuminen
0	0		0		0		0	
1	40	13 %	40	13 %	40	13 %	<u>100</u>	17 %
2	100	17 %	100	17 %	100	14 %	100	16 %
3	50	12 %	50	12 %	<u>100</u>	15 %	50	12 %
4	<u>100</u>	14 %	<u>100</u>	14 %	50	14 %	50	13 %
5	<u>100</u>	14 %	<u>100</u>	14 %	50	12 %	50	11 %
6	60	12 %	60	12 %	60	13 %	60	13 %
7	40	11 %	40	11 %	40	11 %	40	12 %
8	0	7 %	0	7 %	0	7 %	0	6 %



SÄÄTÖPELLIN SULKEMISEN VAIKUTUS ILMAVIRTAUKSIEN JAKAANTUMISEEN
VIIDENNELLÄ VYÖHYKKEELLÄ

